

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Оптимизация структуры и режимов фотоэлектростанций северных территорий</b>

УДК 621.311.243.082.52-048.34(98)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Е	Суровежко Алена Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ	Лукутин Борис Владимирович	д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель профиля ООП	Обухов Сергей Геннадьевич	д.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) Обухов С.Г.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>магистерской диссертации</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Е	Суровежко Алене Олеговне

Тема работы:

<b>Оптимизация структуры и режимов фотоэлектростанций северных территорий</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.07.2018 г. № 9530

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Географическое расположение объекта, установленная мощность поселка, категория электроснабжения поселка и типовые суточные графики нагрузок по сезонам.
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Оценка потенциала использования энергии солнца</p> <p>2. Проектирование фотоэлектростанции</p> <p>3. Выбор оборудования для проектируемой системы</p> <p>4. Алгоритм работы системы электроснабжения объекта</p> <p>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>6. Социальная ответственность</p>
--	---

#### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А
Социальная ответственность	Амелькович Ю.А.
Раздел на иностранном языке	Матухин Д.Л.

#### Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Технические и климатические особенности объекта
Оценка потенциала децентрализованного электроснабжения
Выбор оборудования для фотоэлектростанции
Алгоритм работы системы электроснабжения объекта
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение на иностранном языке
Социальная ответственность

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

#### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лукутин Б.В.	Д.Т.Н., профессор		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM6E	Суровежко Алена Олеговна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM6E	Суровежко Алена Олеговна

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	магистр	<b>Направление</b>	Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.</i>	<i>Стоимость оборудования, стоимость электроэнергии</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	<i>Амортизационные отчисления, ставка дисконтирования для научно-технического проекта</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Построение финансовой модели</i>
2. <i>Расчет показателей оценки инвестиционного проекта</i>
3. <i>Сравнительный анализ работы двух систем электроснабжения с точки зрения экономии топлива</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

--

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM6E	Суровежко Алена Олеговна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM6E	Суровежко Алена Олеговна

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики (ИШЭ)</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ)</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>магистр</b>	<b>Направление</b>	<b>13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника</b>

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объектом исследования является пакет программ для проектирования, в который входит MS Office.</i>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</li> <li>- Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.</li> </ul>
2. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</li> <li>- Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.</li> <li>- Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</li> </ul>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.</li> <li>- Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</li> </ul>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.</li> <li>- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM6E	Суровежко Алена Олеговна		

## **Обозначения и сокращения**

СЭС – солнечная электростанция;

ВИЭ – возобновляемые источники энергии;

ДЭС – дизельная электростанция;

АКБ – аккумуляторная батарея;

ДГУ – дизель-генераторная установка;

АВР – автоматический ввод резерва;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

СССР – Союз Советских Социалистических Республик;

ДГ – дизель – генератор;

ФЭП – фотоэлектрическая панель;

ФЭУ – фотоэлектрическая установка;

СЭ – солнечный элемент;

ЭЭ – электроэнергия;

ДЭУ – дизель – генераторная установка;

ЧДД – чистый дисконтированный доход;

ВНД - внутренняя норма доходности;

ИР – индекс рентабельности;

ПО – период окупаемости.

## Оглавление

Введение.....	13
Обзор литературы.....	14
1 Технические и климатические особенности объекта.....	17
1.1 Объект электроснабжения, характеристики, требования к электроснабжению .....	17
1.2 Климатические особенности объекта .....	20
1.3 Характеристика дизельной электростанции .....	23
1.4 Экономические характеристики потребителя .....	24
2 Оценка потенциала децентрализованного электроснабжения.....	30
2.1 Оценка потенциала использования энергии солнца .....	30
2.1.1 Классический теоретический расчет солнечной радиации .....	32
2.2 Разработка структурной схемы системы электроснабжения .....	41
3 Выбор оборудования.....	42
3.1 Типы солнечных батарей, их характеристики .....	42
3.1.1 Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов.....	43
3.1.2 Солнечные панели на основе поликристаллических фотоэлектрических элементов.....	44
3.1.3 Солнечные батареи из аморфного кремния .....	45
3.1.4 Солнечные панели из теллурида кадмия.....	46
3.1.5 Солнечные панели на основе CIGS.....	46
3.3 Выбор солнечных модулей .....	47
3.4 Выбор контроллера, аккумуляторных батарей и инвертора .....	51
3.4.1 Выбор аккумуляторных батарей .....	51



3.4.2 Выбор контроллера.....	58
3.4.3 Выбор инвертора.....	59
3.5 Принципиальная схема фотоэлектростанции .....	61
4 Алгоритм работы системы электроснабжения объекта .....	63
5 Financial Management, Resource Efficiency and Resource conservation .....	64
5.1 Theoretical background.....	64
5.1.1 Net Present Value .....	64
5.1.2 Internal Rate of Return .....	65
5.1.3 Profitability Index (PI).....	65
5.1.4 Payback period.....	66
5.2 Economic parameters .....	66
5.2.1 Inflation.....	66
5.2.2 Tax shield.....	66
5.2.3 Depreciation.....	67
5.2.4 Discount rate .....	67
5.3 Financial model.....	67
5.3.1 Net Present Value (NPV).....	68
5.3.2 Internal Rate of Return (IRR) .....	68
5.3.3 Profitability Index (PI).....	68
5.3.4 Payback Period (PP) .....	69
5.4 Comparative analysis of two power supply system operations .....	69
5.4.1 Diesel generators power supply .....	69
5.4.2 Power supply from photovoltaic panels and diesel generators .....	71
6 Социальная ответственность .....	73
6.1 Производственная безопасность .....	74

6.1.1 Меры по снижению и устранению опасных и вредных факторов ...	74
6.1.1.1 Защита от электромагнитного поля (ЭМП) .....	74
6.1.1.2 Освещение помещений .....	76
6.1.1.3 Микроклимат помещений.....	77
6.1.1.4 Защита от шума.....	79
6.1.2 Опасные производственные факторы.....	80
6.1.2.1 Электрический ток.....	80
6.1.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	81
6.1.4 Экологическая безопасность .....	85
6.1.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
6.1.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	87
6.1.5.2 Организационные вопросы обеспечения безопасности .....	88
Заключение .....	91
Список литературы .....	94
Приложение А	
Appendix B	
Appendix C	

## Реферат

Данная работа содержит в себе 105 л., 30 рис., 24 табл., 48 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: децентрализованное электроснабжение, возобновляемые источники энергии, Крайний Север, полярный день, экономия топлива.

Объектом исследования является небольшой поселок Попигай на территории крайнего севера вблизи села Хатанга.

Цель проекта: разработка системы децентрализованного электроснабжения объекта электроснабжения – небольшого поселка, располагающегося на территории крайнего севера, произвести экономическое обоснование принимаемых решений.

Для достижения поставленной цели использованы расчетные и графоаналитические методы, климатические характеристики заданного региона, пакеты программ Mathcad 2015, Excel, графический редактор Microsoft Visio.

Актуальность работы: В настоящее время все больше и больше говорят о дефиците углеводородов, о возможном решении проблемы при помощи использования альтернативных источников энергии, так как дефицит традиционных ресурсов энергии неизбежно приведет к постепенному росту цен на энергоносители в будущем. Кроме того, на территории России существует множество отдаленных районов, подключение которых к центральному электроснабжению затруднено, данный факт также способствует развитию альтернативной энергетики в России. Более того, страна изобилует природными возобновляемыми источниками энергии.

Солнечная энергетика имеет большой потенциал, но пока не реализованный на практике в полной мере. Кроме того, для удаленных объектов, на долю которых приходится до 70% территории страны с населением до 23 млн. человек, солнечная альтернативная энергетика в

России может стать решением проблемы [1]. Исследуемый поселок входит в число удаленных объектов.

Ключевым фактором в данной работе является проблема обеспечения электроэнергией удаленного от централизованного электроснабжения объекта, решить которую возможно с использованием солнечной энергии. Проектирование нового или реконструируемого объекта включает этап выбора схемных решений систем электроснабжения. На данном этапе необходимо обеспечить требования ПУЭ в соответствии с установленной категорией надежности объекта и выбрать наиболее экономичный вариант из рассматриваемых.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- анализ существующего генерирующего оборудования;
- выбор необходимого типа, мощности и количества оборудования фотоэлектростанции;
- разработка схемы электроснабжения поселка;
- оценка экономической эффективности внедрения солнечных источников электроэнергии;
- оценка объёмов экономии топлива при применении гибридной электростанции.

Результаты, полученные в проекте, могут быть использованы при решении задач электроснабжения удаленных объектов.

## **Введение**

В настоящее время на территории Российской Федерации около 70% территории страны с населением до 23 млн. человек приходится на долю удаленных объектов, не имеющих доступа к централизованному электроснабжению. Кроме того, наблюдается рост тарифов энергоснабжающих организаций, что финансово затратно для данных регионов. Применение альтернативных источников энергии, а именно солнечной энергии может стать решением проблемы. Преимущество солнечной энергии очевидно: солнечный свет доступен в любой точке мира.

Также на территории исследуемого объекта присутствует климатическая особенность – наличие полярного дня. Полярный день длится с 9 мая по 4 августа, что делает объект привлекательным с точки зрения внедрения фотоэлектростанции.

Целью проекта является разработка децентрализованной системы электроснабжения небольшой деревни, расположенной на территории за полярным кругом, и подготовка экономической оценки решений.

В свою очередь, следует отметить, что подготовка экономической оценки в области энергетики сложна из-за ряда факторов [2]:

- Отрасль энергетики имеет очень технический характер, требуя некоторого понимания основных процессов и методов для эффективного решения экономических проблем;
- Каждое направление энергетики имеет свои особенности, которые требуют особого внимания;
- На данный сектор оказывают влияние взаимодействия на разных уровнях (международных, национальных, региональных и даже местных), большинство из которых выходят за рамки одной дисциплины.

В роли исследуемого объекта электроснабжения выступает небольшой поселок Попигай на территории крайнего севера вблизи села Хатанга.

## Обзор литературы

В настоящее время в России реализуется последовательная политика в области развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – солнечной и ветрогенерации, малых гидроэлектростанций. В 2014–2016 годах в России было введено более 130 МВт новой мощности ВИЭ, при этом преимущественно все объекты – солнечные электростанции (СЭС). В 2017 году введено ещё более 140 МВт – больше, чем за предыдущие два года, из них более 100 МВт приходится на СЭС [3]. При внедрении альтернативных источников энергии повышается надёжность энергоснабжения изолированных территорий, на долю которых приходится до 70% территории страны с населением до 23 млн. человек. Кроме того, с развитием ВИЭ в России и освоением передовых технологий и компетенций в дальнейшем представится возможным осуществлять экспорт высокотехнологичной продукции [3]. Подпрограмма развития использования возобновляемых источников энергии, ответственным по которой является Минэнерго, предусматривает увеличение до 2020 года доли альтернативной электроэнергии в 8 раз [4].

Повышение энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии, необходимое для надежного, устойчивого и долгосрочного энергообеспечения экономического развития Российской Федерации, способствует вовлечению инновационных наукоемких технологий и оборудования в энергетическую сферу и является одним из значимых мероприятий, связанных с выполнением международных обязательств Российской Федерации по ограничению выбросов парниковых газов [5]. Например, в зоне Российского Крайнего Севера, где отсутствует централизованное электроснабжение, и его сооружение не представляется возможным в ближайшем будущем, эксплуатируются более 12 тысяч дизельных электростанций (ДЭС) мощностью от 100 кВт до 3,5 МВт; средний расход завозимого

дорогостоящего топлива составляет на каждой из них от 360 (на современных ДЭС) до 480 (на старых ДЭС) тонн в год. Поэтому все острее становится проблема экологизации северной энергетики, которая должна стать более эффективной в экстремальных условиях Севера [6].

В данный момент, имеется опыт успешной эксплуатации крупных фотоэлектростанций на территории Крайнего Севера: в Батагае, в селах Батамай, Ючюгей, Куду-Кюель, Тойон-Ары, Дулгалах, Эйик, Куберганя и Джаргалах, в ОАО "Сахазэнерго", что описано подробно в источниках [7-9]. Но данные СЭС располагаются в солнечной Якутии, так как, как сказал Глава республики Егор Афанасьевич Борисов еще на торжественном открытии IV Международной конференции «Развитие возобновляемой энергетики на Дальнем Востоке России» летом 2016 года: «Существуют проблемы, требующие решения. Прежде всего, это вхождение республики в единую энергетическую систему России (ЕЭС России). У нас обширная территория, много труднодоступных населённых пунктов. В некоторых населённых пунктах 1кВт·ч электроэнергии стоит по 5-6 долларов. Поэтому нам необходимо осваивать другие, более доступные виды альтернативной энергетики» [10]. После этого Глава республики сообщил «о необходимости провести работу по оптимизации дизельной энергетики, предусматривающую замещение существующей дизельной генерации экономически эффективными современными объектами генерации энергии, где должны быть определены конкретные целевые показатели, характеризующие экономическую эффективность и тарифные последствия планируемых мероприятий» [10].

В свою очередь, территории Крайнего Севера в Красноярском крае, например, остаются не такими исследуемыми с целью выявления эффективности внедрения СЭС, несмотря на привлекательность наличия полярного дня. В связи с этим, в диссертации «Оптимизация режимов и структуры фотоэлектростанций северных территорий» будут

рассматриваться данные вопросы, как с инженерно-технической точки зрения, так и с экономической.



## **1 Технические и климатические особенности объекта**

### **1.1 Объект электроснабжения, характеристики, требования к электроснабжению**

Для электроснабжения могут использоваться традиционные и альтернативные источники энергии. Традиционными считаются системы «электростанция – трансформаторная подстанция – воздушные линии электропередачи (ЛЭП) – трансформаторная подстанция – электроприемник». Альтернативные – это системы, генерирующими элементами которых являются солнечные, ветряные, геотермальные или приливные электростанции.

Основной целью выполнения данной работы является разработка системы децентрализованного электроснабжения объекта электроснабжения – небольшого поселка, располагающегося на территории крайнего севера. Отсутствие крупных производственных объектов, а также специфика географического положения практически исключают необходимость в централизованном электроснабжении.

Одним из наиболее перспективных направлений развития энергетики в современных условиях является использование в энергетических целях местных возобновляемых энергетических ресурсов. Соответственно, первоочередные технические решения, обеспечивающие повышение эффективности комплекса децентрализованного электроснабжения, должны обеспечивать экономию дорогостоящего дизельного топлива. Существенным резервом повышения экономичности автономных систем электроснабжения в частности является использование комбинированных солнечно-топливных электроустановок, сочетающих в себе установки возобновляемой энергетики и дизельные электростанции. Но необходимо понимать, что введение в состав дизельной электростанции таких установок будет экономически оправдано только в том случае, если расчетные затраты на ВИЭ будут

сопоставимы со стоимостью сэкономленного топлива. Эффективность установок данного типа во многом определяется потенциалом первичного энергетического ресурса: чем больше часов в году работает установка, тем больше экономия топлива ДЭС и тем меньше расходы на ремонт. В свою очередь современные тенденции резкого удорожания топлива и транспортных расходов могут существенно расширить зоны экономически целесообразного применения комбинированных энергоустановок, в их пользу действуют и современные тенденции развития технологий возобновляемой энергетики.

Кроме того, учитывая климатические и территориальные особенности объекта, применение альтернативных источников энергии возможно.

Исследуемый объект – небольшой поселок Попигай на территории крайнего севера вблизи села Хатанга. Село Хатанга располагается в Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края, и его координаты составляют:  $71^{\circ} 59' \text{с.ш.}$ ,  $102^{\circ} 30' \text{в.д.}$  (Рисунок 1). От села Хатанга до краевого центра, города Красноярска, — 2,2 тыс. км.

Установленная мощность электростанции поселка Попигай равна 100 кВт, так как население поселка составляет 357 человек. В поселке располагаются начальная школа-интернат, фельдшерско-акушерский пункт, магазин, отделение УФПС Красноярского края — филиал ФГУП «Почта России», сельский дом культуры, библиотека, община КМН «Попигай» [11].



Рисунок 1 – Месторасположение исследуемого объекта

Категория по надежности электроснабжения поселка – третья. Для электроприемников III категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток [12]. Но так как альтернативный источник энергии зависит от климатических условий, то также необходимо предусмотреть надежный источник электроэнергии – ДЭС.

## **1.2 Климатические особенности объекта**

Основной климатической особенностью данного поселка является наличие полярного дня и ночи. Полярная ночь на широте Хатанги длится с 17 ноября по 25 января, полярный день — с 9 мая по 4 августа.

Полярная ночь не обязательно означает полную темноту в течение всех 24 часов. Главная её особенность заключается в том, что Солнце не поднимается над горизонтом.

Так как данный объект находится ниже  $72^{\circ} 34' \text{с.ш.}$ , то полярная ночь является гражданской, т.е. в момент верхнего солнцестояния наблюдаются сумерки. Если рассматривать целиком полярную ночь, то ежедневно наблюдаются все виды сумерек и периоды без них [13].

При гражданских сумерках угол нахождения Солнца под горизонтом составляет от  $0^{\circ}50'$  до  $6^{\circ}$ .

Используя специализированную программу Солнечный калькулятор, возможно определить продолжительность дня, либо ночи, угол склонения Солнца относительно горизонта для любых суток в течение года (рисунок 2 и рисунок 3).

### Солнечный калькулятор

позволяет посчитать время восхода и захода Солнца на любой день года в любой точке Земли

Выберите город

Хатанга, Красноярский край, Россия

#### ПАРАМЕТРЫ

ДАТА:

Май

22

2016

ШИРОТА

>0 для Северной,  
<0 для Южной

71.983

градусов

ДОЛГОТА

>0 для Восточной,  
<0 для Западной

102.467

градусов

Временная зона:

+7 или

0

При выборе города из списка  
временная зона ставится для  
следующей за текущей даты.  
Для других дат Вам нужно  
выбрать её самостоятельно.

Посчитать

#### РАССЧИТАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Склонение Солнца: 20.535 градусов

Восход: не восходит

Заход: не заходит

Долгота дня: 24ч. 00м.

Рисунок 2 – Данные полярного дня

### Солнечный калькулятор

позволяет посчитать время восхода и захода Солнца на любой день года в любой точке Земли

Выберите город

Хатанга, Красноярский край, Россия

#### ПАРАМЕТРЫ

ДАТА:

Дек.

22

2016

ШИРОТА

>0 для Северной,  
<0 для Южной

71.983

градусов

ДОЛГОТА

>0 для Восточной,  
<0 для Западной

102.467

градусов

Временная зона:

+7 или

0

При выборе города из списка  
временная зона ставится для  
следующей за текущей даты.  
Для других дат Вам нужно  
выбрать её самостоятельно.

Посчитать

#### РАССЧИТАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Склонение Солнца: -23.427 градусов

Восход: --.--

Заход: --.--

Долгота дня: 00ч. 00м.

Рисунок 3 – Данные полярной ночи

Таким образом, при наступлении полярного дня, возможна выработка электроэнергии при помощи альтернативных источников энергии – фотоэлектростанции. Выработка электроэнергии будет осуществляться в течение 24 часов на протяжении практически 3 месяцев. Но также электроэнергия не будет вырабатываться в течение 2 месяцев во время полярных ночей. Следовательно, необходимо предусмотреть дополнительный источник электроэнергии, а также накопитель для времен полярного дня.

Кроме того, необходимо учесть облачность данного района, т.к. даже при наличии полярного дня, выработка электроэнергии может быть не максимальной (таблица 1).

Статистические данные реальной облачности взяты с сайта РП5 [14].

Таблица 1 – Статистические данные облачности исследуемого региона

Месяц	Облачность в %
Январь	40
Февраль	50
Март	40
Апрель	40
Май	50
Июнь	50
Июль	50
Август	50
Сентябрь	60
Октябрь	60
Ноябрь	50
Декабрь	40

Как видно из таблицы 1, в целом по году облачность составляет 50%.

Следовательно, только дальнейшие расчеты помогут оценить солнечный потенциал при данной облачности.

### **1.3 Характеристика дизельной электростанции**

На дизельной электростанции вблизи поселка Хатанга установлено три дизель - генератора (1 в резерве) типа ЭД-50-Т400-3РН мощностью 50кВт каждый, блок-контейнерного исполнения с 3 степенью автоматизации: автоматический запуск ДГУ, резервирование сети, автоматическая дозаправка топлива и масла (таблица 2). Необслуживаемая работа ДЭС обеспечивается более, чем на 24 часа (Рисунок 4) [15].



Рисунок 4 - Дизель-генератор типа ЭД-50-Т400-3РН блок - контейнерного исполнения

Внутри утепленного блок-контейнера (запуск и работа ДЭС до - 50°С) размещается дизельная электростанция с технологическим оборудованием: шкаф автоматического ввода резерва - АВР, шкаф общей шины, дополнительные топливные баки, система дозаправки топлива, масла, система пожаротушения, сигнализация и система удаленного мониторинга [16].

Таблица 2 - Характеристика дизельных генераторов электростанции

Тип генератора	$P_{\text{ном, кВт}}$	Расход топлива (75% нагрузки), л/ч	Топливный бак, л	Вырабатываемый ток	f, Гц	Стоимость (руб.)
ЭД-50-Т400-3РН	50	11,6	200	Переменный трехфазный	50	630000

Согласно рекомендациям производителя, допустимая перегрузка данных типов генераторов составляет не более 10% от номинальной мощности на протяжении не более 1 часа на каждые 8 часов работы, всего не более 200 часов в год, а рекомендованная нагрузка должна находиться в диапазоне от 75% до 90 % от номинальной мощности. Работа при нагрузке менее 25% не допускается более 5 минут.

#### 1.4 Экономические характеристики потребителя

Зная установленную мощность электростанции – 100 кВт и рассчитав реактивную мощность (таблица 3), можно построить типовые суточные графики нагрузок по сезонам.

$$Q = P_{\text{max}} \cdot \operatorname{tg}(\varphi), \quad (1)$$

$$Q = 100 \cdot 0,3286 = 32,86, \text{ кВар};$$

Данное значение тангенса угла потерь соответствует коэффициенту мощности, равному 0,95, что удовлетворяет нормам качества ЭЭ [17].

Таблица 3 - Установленная мощность нагрузки поселка Попигай

Активная мощность $P_{\text{max}}$ , кВт	Реактивная мощность $Q_{\text{max}}$ , кВар
100	32,86



Зная максимум нагрузки  $P_{\max}, Q_{\max}$  (Таблица 3), типовой график, приведенный в процентах, перестраивается в именованные единицы кВт, (МВт), кВАр (МВАр).

Так, активная мощность, потребляемая каждый час в течение суток, вычисляется по формуле:

$$P_{\text{ч}} = k \cdot P_{\text{р}} \quad (2)$$

где  $P_{\text{ч}}$  – нагрузка, потребляемая за определенный час;

$P_{\text{р}}$  – расчетная мощность;

$k$  – коэффициент загрузки установленной мощности, %  
[18, табл. 3.3].

Следовательно, активная мощность, потребляемая зимой с 00.00 по 01.00:

$$P_{\text{ч}} = k \cdot P_{\text{р}} = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ кВт}$$

Значения почасового потребления активной мощности зимой, весной, летом и осенью приведены в таблице 4. Кроме того, далее будет учтено, что максимальная активная мощность для летнего периода на 30% меньше, чем для зимнего, а весной и осенью – от 10 до 20%.

Таблица 4 - Почасовое потребление активной мощности по сезонам

Время	$P, \text{кВт}$			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1	25	20	14	22,5
2	25	20	14	22,5
3	25	20	14	22,5
4	25	20	14	22,5
5	25	20	17,5	22,5
6	35	28	21	31,5
7	50	36	28	40,5

Продолжение таблицы 4

8	60	40	31,5	49,5
9	40	32	28	36
10	30	24	21	27
11	30	24	21	27
12	35	28	21	31,5
13	40	32	24,5	36
14	30	24	21	27
15	30	24	21	27
16	30	24	21	27
17	40	24	21	27
18	70	32	21	36
19	100	40	24,5	63
20	95	56	28	90
21	70	80	49	76,5
22	50	16	70	54
23	35	40	42	36
24	35	24	17,5	27

На основании проведенных расчетов построим характерные графики суточного потребления активной мощности для каждого сезона (рисунок 5-8).

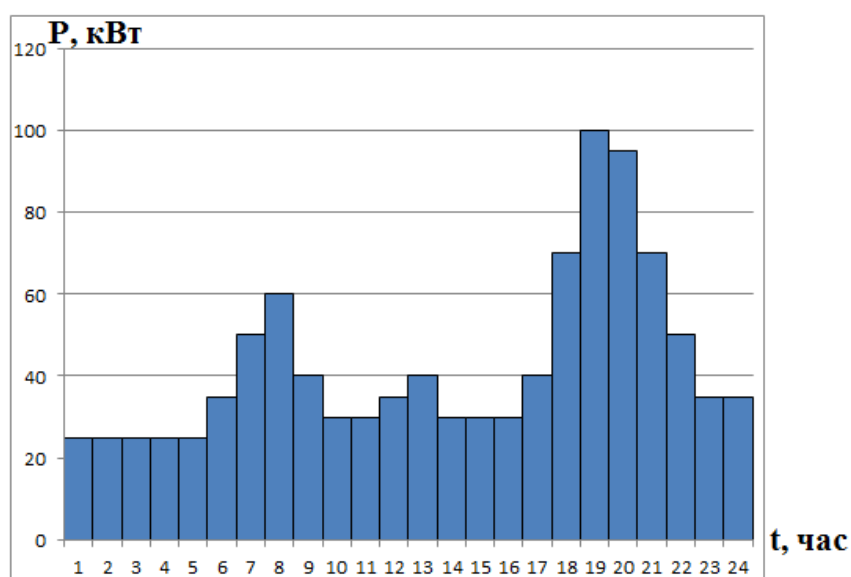


Рисунок 5 – График зимнего суточного потребления активной мощности (декабрь)

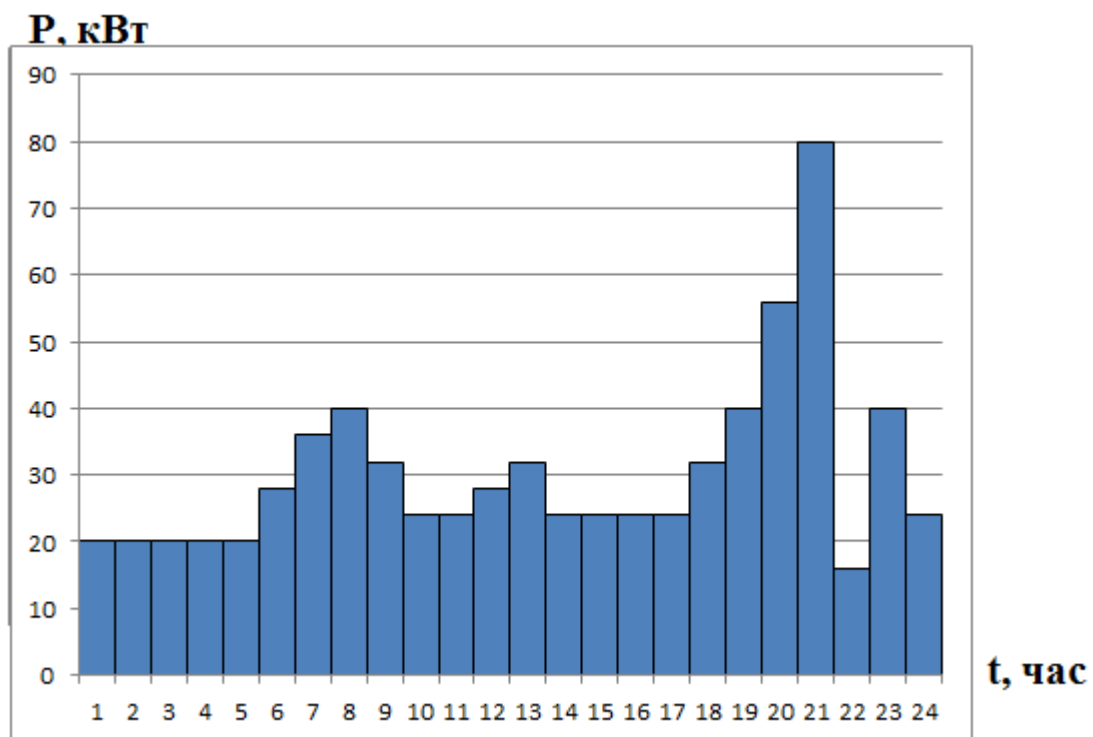


Рисунок 6 – График весеннего суточного потребления активной мощности  
(март)

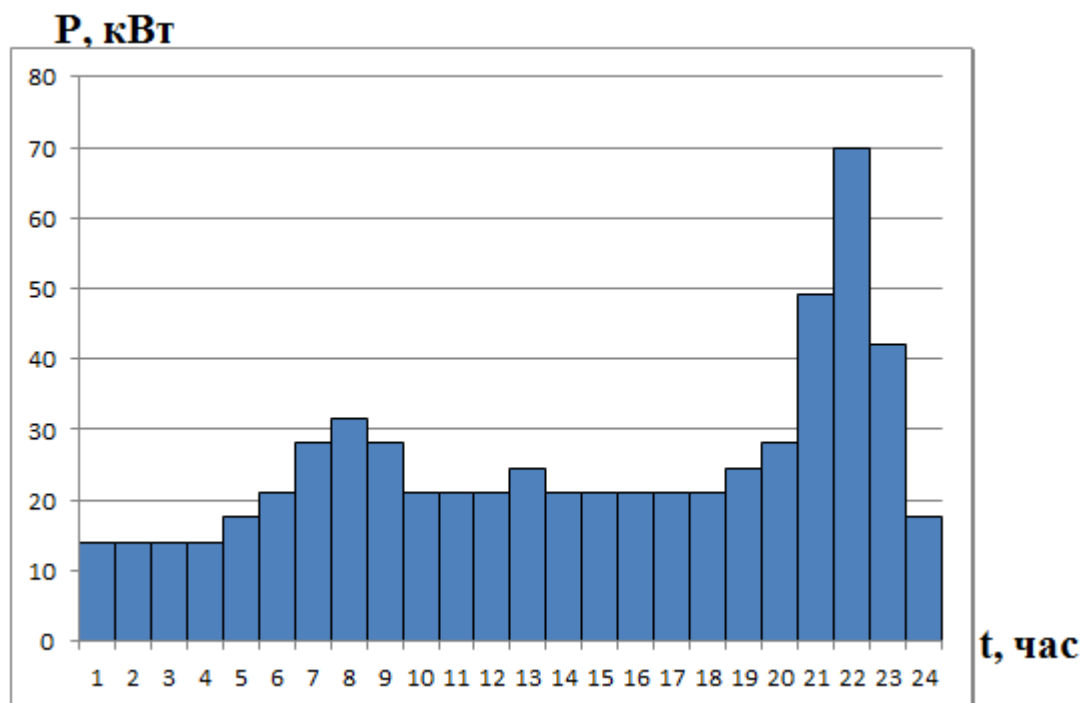


Рисунок 7 – График летнего суточного потребления активной мощности  
(июнь)

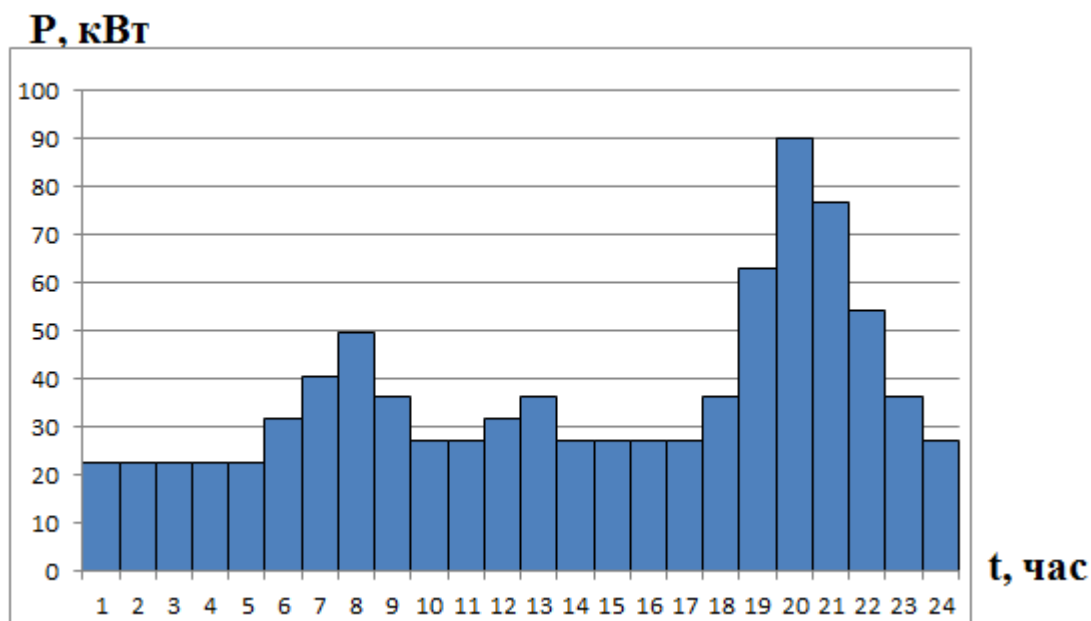


Рисунок 8 – График осеннего суточного потребления активной мощности (сентябрь)

Для построения годового графика активной мощности сначала необходимо рассчитать объем мощности, потребляемой ежемесячно с учетом коэффициента сезонности [18, табл. 3.4].

Активная мощность, потребляемая в декабре:

$$W = W_{\text{сут}} \cdot k_c \cdot Q, \quad (3)$$

где  $Q$  – количество дней в рассчитываемом месяце.

$$W_{\text{дек}} = 1030 \cdot 1 \cdot 31 = 31930 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Для остальных месяцев расчет производится аналогично. Расчетные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Суммарная активная мощность нагрузки по месяцам

Месяц	$k_c$	$W$ , кВт · ч
Январь	1	31930
Февраль	1	28840
Март	0,8	22568

Продолжение таблицы 5

Апрель	0,7	19110
Май	0,7	19747
Июнь	0,7	18165
Июль	0,9	24133,5
Август	0,9	24133,5
Сентябрь	0,9	26460
Октябрь	1	30380
Ноябрь	1	29400
Декабрь	1	31930

На рисунке 9 представлен годовой график нагрузок, построенный на основе расчетных данных.

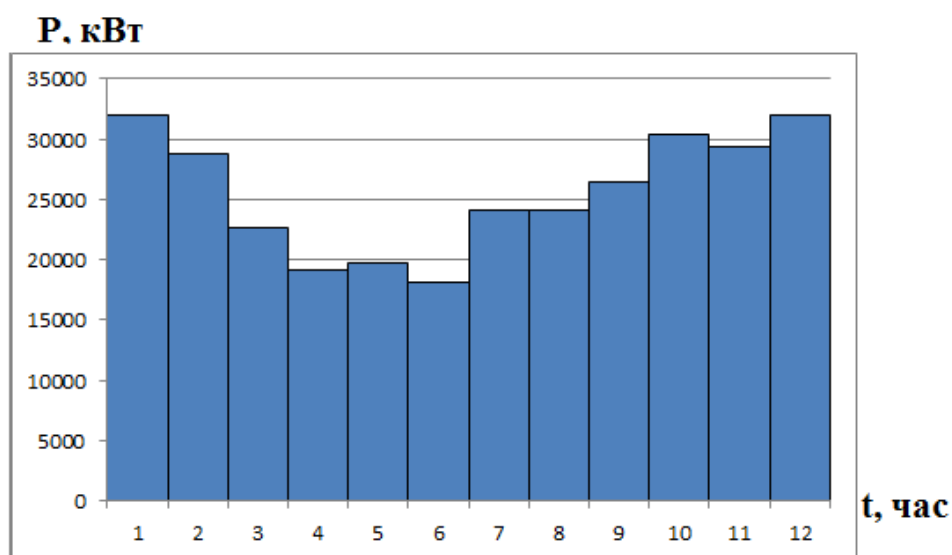


Рисунок 9 – Годовой график нагрузок

Таким образом, проанализировав полученные зависимости, можно сделать вывод, что в результате расчетов были получены типовые графики энергопотребления небольшого поселка. Годовое потребление электрической энергии поселком составляет 306,8 МВтч/год.

Итоговой целью работы можно считать выбор наиболее оптимального варианта энергообеспечения рассматриваемого объекта и оценка

эффективности применения солнечных источников в составе гибридной электростанции.

## **2 Оценка потенциала децентрализованного электроснабжения**

### **2.1 Оценка потенциала использования энергии солнца**

Солнечная энергия – основной источник энергии, приходящей из космоса на поверхность Земли. Солнце – естественный постоянно действующий термоядерный реактор.

Статистические данные для исследуемого района по солнечному потенциалу взяты из Справочника по климату СССР [19].

В течение года наблюдается 162 дня без солнца, начиная с середины октября и заканчивая серединой февраля.

Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность по месяцам представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Суммарная солнечная радиация по месяцам

Месяц	Суммарная солнечная радиация при ясной погоде $Q_c$ , кВтч/м <sup>2</sup>	Суммарная солнечная радиация при средних условиях облачности $Q_c$ , кВтч/м <sup>2</sup>
Январь	-	-
Февраль	-	-
Март	51,3	20,55
Апрель	110,56	85,83
Май	169,17	158,89
Июнь	241,67	152,78
Июль	259,17	153,89
Август	242,22	98,33
Сентябрь	182,78	42,78
Октябрь	97,5	17,8
Ноябрь	39,17	2,5
Декабрь	-	-

Зная, что в течение каждого месяца наблюдается средняя облачность, а именно не ниже 40% (таблица 1). Таким образом, в расчетах необходимо

учитывать суммарную солнечную радиацию при средних условиях облачности.

Но далее необходимо определить оптимальный угол наклона солнечной панели, чтобы солнечная радиация была максимальной. Логично, что солнечная радиация будет максимальной при прямом угле падения солнечных лучей на панель. Зная угол склонения солнца для различных месяцев из специализированной программы Солнечный калькулятор, можно простым расчетом определить, на какой угол следует повернуть панель, чтобы угол падения солнечных лучей был под углом в 90°. Для примера возьмем 28 марта (Рисунок 9).

ПАРАМЕТРЫ		
<b>ДАТА:</b>	Март ▼	28 ▼ 2017 ▼
<b>ШИРОТА</b> >0 для Северной, <0 для Южной	71.983 градусов	Временная зона: +7 ▼ или 0
<b>ДОЛГОТА</b> >0 для Восточной, <0 для Западной	102.467 градусов	При выборе города из списка временная зона ставится для следующей за текущей даты. Для других дат Вам нужно выбрать её самостоятельно.
Посчитать		
РАССЧИТАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ		
<b>Склонение Солнца:</b>	3.067	градусов
<b>Восход:</b>	5:28	
<b>Заход:</b>	19:06	
<b>Долгота дня:</b>	13ч. 38м.	

Рисунок 10 – Данные положения солнца и продолжительности дня

Как видно из рисунка 10, для угла 3,067° было бы оптимальным положение панели с углом  $\frac{\pi}{2}$ , но необходимо также учесть другие месяца для данного периода времени, т.к. угол не будет меняться в течение каждого месяца, только по сезонам. Данные сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Сводные данные по месяцам

Месяц	Угол склонения солнца, °
С 26 января по 31 января	От -18,65 до -17,32
С 1 февраля по 28 февраля	От -17,036 до -7,88
С 1 марта по 31 марта	От -7,5 до 4,23
С 1 апреля по 30 апреля	От 4,62 до 14,83
С 1 мая по 8 мая	От 15,14 до 17,14
С 9 мая по 31 мая	От 17,4 до 21,94
С 1 июня до 30 июня	От 22,07 до 23,15
С 1 июля до 31 июля	От 23,08 до 18,2
С 1 августа до 4 августа	От 17,96 до 17,17
С 5 августа по 31 августа	От 16,09 до 8,56
С 1 сентября по 30 сентября	От 8,2 до -2,87
С 1 октября по 31 октября	От -3,26 до -14,16
С 1 ноября по 16 ноября	От -14,5 до -18,78

Таким образом, для месяцев с января по апрель и с сентября по ноябрь среднее значение склонения солнца составляет около 10 градусов, следовательно, ближайшее оптимальное значение угла наклона солнечной панели -  $\frac{5\pi}{12}$ . Для месяцев с мая по август включительно -  $\frac{\pi}{6}$ .

Далее произведем классический теоретический расчет, чтобы подтвердить мою теорию.

### 2.1.1 Классический теоретический расчет солнечной радиации

При вычислении солнечной радиации, поступающей на какую-либо наклонную плоскость, принимают во внимание три составляющие радиационного баланса [20]:

$$Q_{\text{накл}} = S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}}, \quad (4)$$



где  $Q_{\text{накл}}$  – суммарная солнечная радиация, падающая на наклонную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;

$S_{\text{накл}}$  – прямое солнечное излучение, падающее на наклонную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;

$R_{\text{накл}}$  – излучение, отраженное от поверхности Земли, Вт/м<sup>2</sup>.

Отраженное от поверхности Земли и падающее на наклонную плоскость излучение  $R_{\text{накл}}$  пренебрежимо мало в теплое время года, при отсутствии снежного покрова им можно пренебречь [20].

Приблизительно оценим значение склонения Солнца по формуле Купера (для 28 марта):

$$\delta = 0,41 \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{284+N}{365} \right), \quad (5)$$

$$\delta_{\text{м}} = 0,41 \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{284 + 87}{365} \right) = 0,042.$$

где  $N$  – порядковый номер дня в году, отсчитываемый от 1 января.

Далее определяем высоту солнца и угол падения солнечного излучения на площадку при различных углах наклона плоскости к горизонту по формуле:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos s - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin s \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos s \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin s \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin s \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega, \quad (6)$$

где  $\varphi$  – географическая широта местности, рад;

$\delta$  – склонение Солнца, рад;

$s$  – угол наклона плоскости к горизонту, рад.

Найдем плотность потока суммарной солнечной радиации, падающей на наклонную площадку в ясную погоду при различных углах наклона площадки к горизонту:

$$Q_{\text{накл}}(\varphi, \omega, \gamma, s, N) = S_{\text{накл}}(\varphi, \omega, \gamma, s, N) + D_{\text{накл}}(\varphi, \omega, s, N), \quad (7)$$

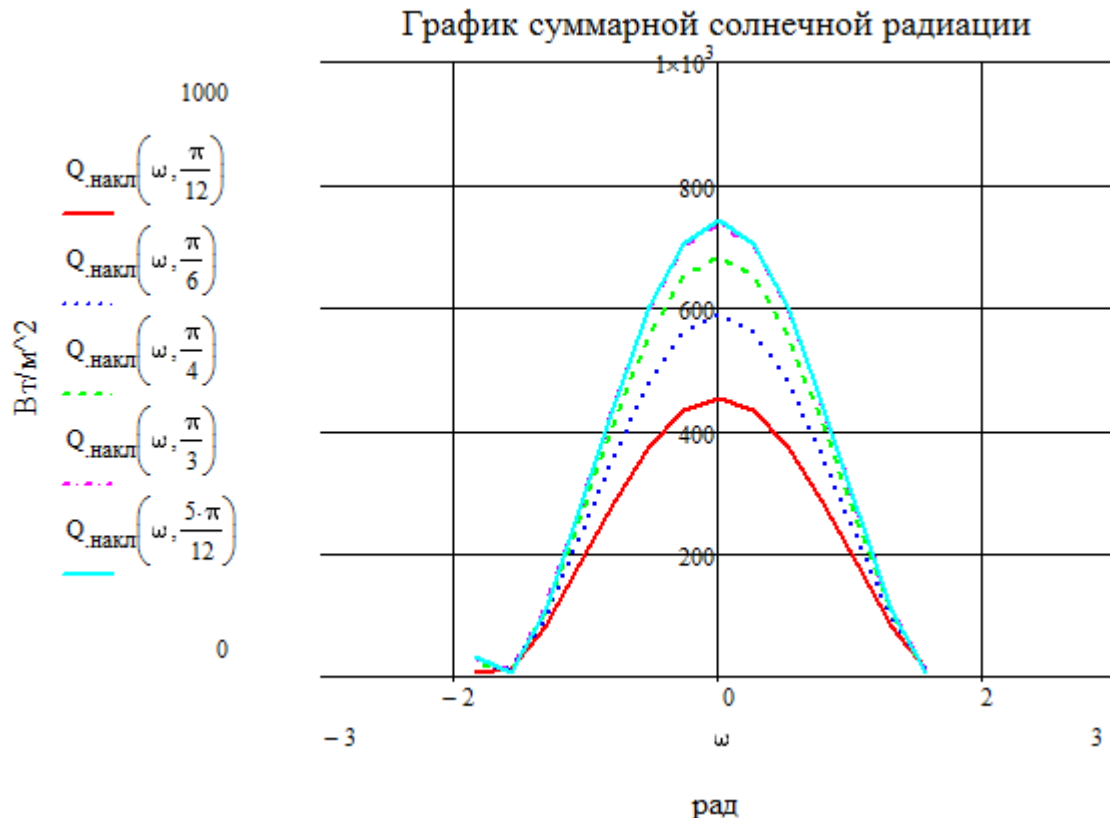


Рисунок 11 – График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами в весенний ясный день

Как видно из рисунка 11, максимальное количество солнечной радиации поступает на плоскость, наклоненную к горизонту под углом  $5\pi/12$ , как и было сказано ранее. На рисунке 12 можно увидеть суммарную солнечную радиацию за сутки.

$\int_{-2}^2 Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{12}\right) d\omega = 844.296$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад}$	$844 \cdot \frac{12}{\pi} = 3.224 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$
$\int_{-2}^2 Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{6}\right) d\omega = 1.08 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад}$	$1080 \cdot \frac{12}{\pi} = 4.125 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$
$\int_{-2}^2 Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{4}\right) d\omega = 1.25 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад}$	$1250 \cdot \frac{12}{\pi} = 4.775 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$
$\int_{-2}^2 Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{3}\right) d\omega = 1.34 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад}$	$1340 \cdot \frac{12}{\pi} = 5.118 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$
$\int_{-2}^2 Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{5 \cdot \pi}{12}\right) d\omega = 1.344 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад}$	$1344 \cdot \frac{12}{\pi} = 5.134 \times 10^3$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$

Рисунок 12 – Суммарная солнечная радиация за сутки

Определим поступление суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную к горизонту под оптимальным углом в облачную погоду с прояснениями по формуле:

$$Q_{\text{обл}}(\varphi, \omega, \gamma, s, N) = (S_{\text{накл}}(\varphi, \omega, \gamma, s, N) + D_{\text{накл}}(\varphi, \omega, s, N)) \cdot (1 - (a + bn)n), \quad (8)$$

где  $n$  – количество облаков в долях единицы ( $n = 0$  при безоблачном небе,  $n = 1$  при сплошной облачности), для марта месяца облачность составляет 40%;

$b$  – коэффициент, который можно считать постоянным и равным 0,38;

$a$  – коэффициент, зависящий от среды (суша или море) и от широты местности.

Результат представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную углом  $5\pi/12$  к горизонту в весенний облачный день с прояснениями

Аналогично проводится расчет для летних суток, когда наблюдается полярный день. В качестве контрольного дня взяты сутки 18 июня. Полученные данные представлены ниже (рисунок 14).

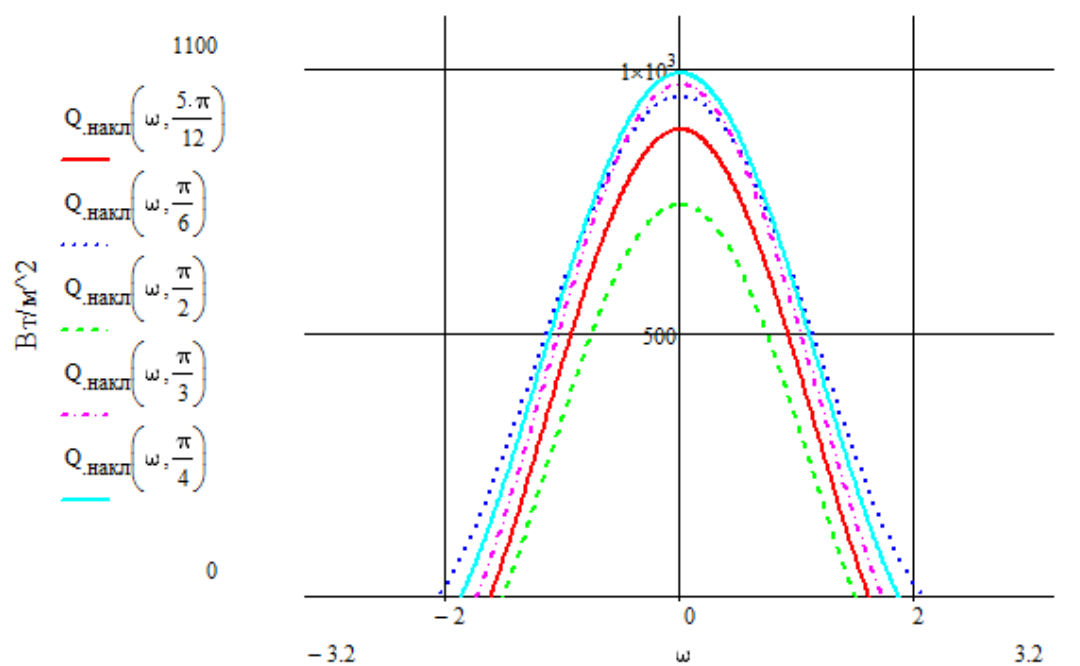


Рисунок 14 – График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами в летний ясный день

Как видно из рисунка 14, максимальное количество солнечной радиации поступает на плоскость, наклоненную к горизонту под углом  $\pi/6$ . На рисунке 15 можно увидеть суммарную солнечную радиацию за сутки.

$$\int_{-3.14}^{3.14} Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{3}\right) d\omega = 1.545 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад} \quad 1545 \cdot \frac{12}{\pi} = 5.901 \times 10^3 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

---


$$\int_{-3.14}^{3.14} Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{6}\right) d\omega = 2.058 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад} \quad 2058 \cdot \frac{12}{\pi} = 7.861 \times 10^3 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

$$\int_{-3.14}^{3.14} Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{4}\right) d\omega = 1.856 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад} \quad 1856 \cdot \frac{12}{\pi} = 7.089 \times 10^3 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

$$\int_{-3.14}^{3.14} Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{5\pi}{12}\right) d\omega = 1.145 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад} \quad 1145 \cdot \frac{12}{\pi} = 4.374 \times 10^3 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

$$\int_{-3.14}^{3.14} Q_{\text{накл}}\left(\omega, \frac{\pi}{2}\right) d\omega = 684.375 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{рад} \quad 684.37 \cdot \frac{12}{\pi} = 2.614 \times 10^3 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

Рисунок 15 – Суммарная солнечная радиация за сутки

Аналогично для облачного дня с прояснениями (рисунок 16).

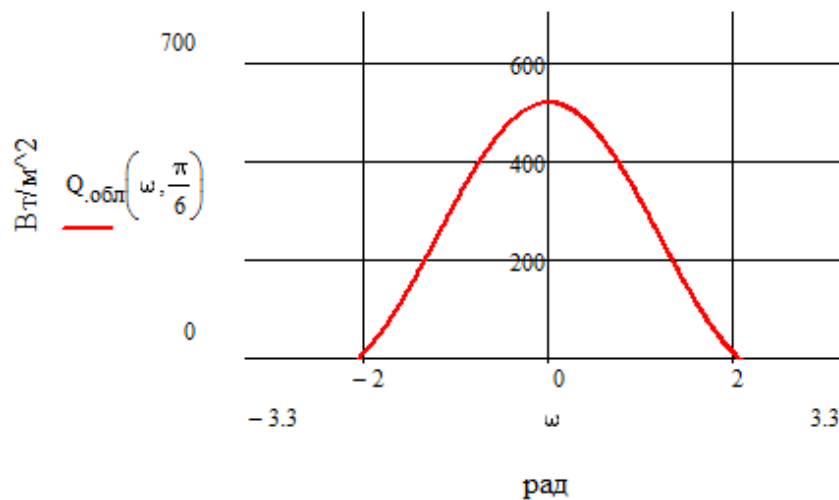


Рисунок 16 – График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную углом  $\pi/6$  к горизонту в летний облачный день с прояснениями

Так как определены оптимальные углы наклона солнечных панелей, а теоретический расчет подтверждает правильность предположения, то для оценки суммарной мощности, которую мы можем получить с солнечных панелей воспользуемся статистическими данными Справочника по климату СССР (таблица 5), поскольку данные значения более точные и учитывают наличие гражданских сумерек в течение полярного дня, что так же может быть учтено расчетами, но лишь приблизительно. Но для того, чтобы максимально использовать данное значение солнечной радиации, необходимо обеспечить перпендикулярное положение солнечных панелей относительно угла падения солнечного луча. Как мы уже выяснили ранее, не во все месяца возможно это обеспечить, поэтому примем тридцатипроцентные (30%) потери на преломление солнечных лучей. А также учитываем большее получение солнечной радиации в течении суток по сравнению со справочными данными, взятыми из Справочника по климату СССР (таблица 5), умножением на коэффициент 1,5, так как замеры, приведенные в справочнике, проводились при расположении приборов непосредственно на горизонтальной поверхности земли без какого-либо угла наклона.

Таким образом, получаем новую таблицу 8 с данными на основании таблицы 5.

Таблица 8 – Суммарная солнечная радиация по месяцам

Месяц	Суммарная солнечная радиация при средних условиях облачности $Q_c$ , кВтч/м <sup>2</sup>
Январь	-
Февраль	-
Март	55,6
Апрель	119,8
Май	183,3
Июнь	165,6
Июль	166,8
Август	106,6
Сентябрь	46,4
Октябрь	19,3
Ноябрь	2,7
Декабрь	-

Солнечная активность заданного района и потребность в электроэнергии объекта электроснабжения представлены на рисунках 17 и 18.

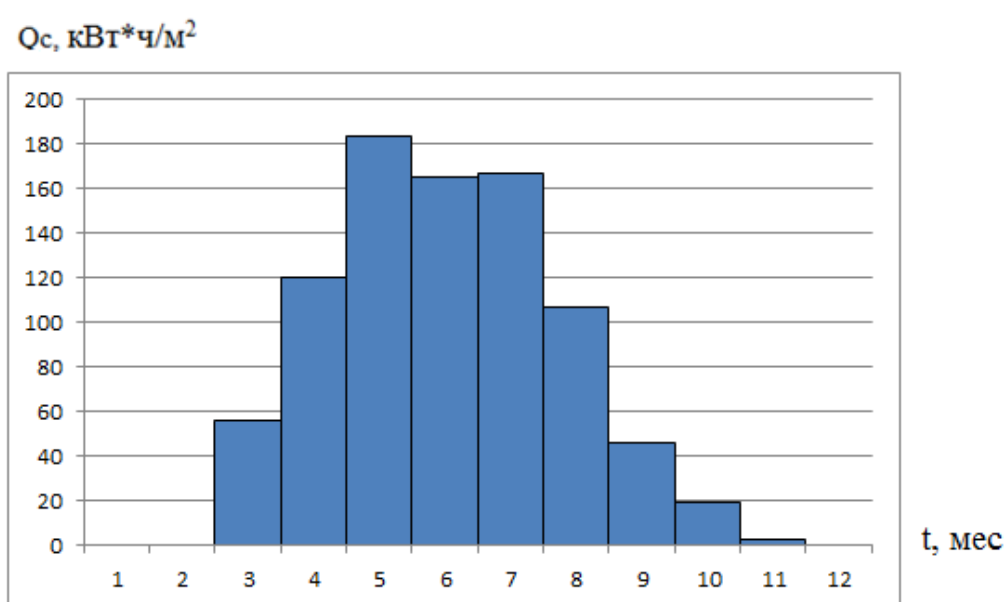


Рисунок 17 - Солнечная активность заданного района

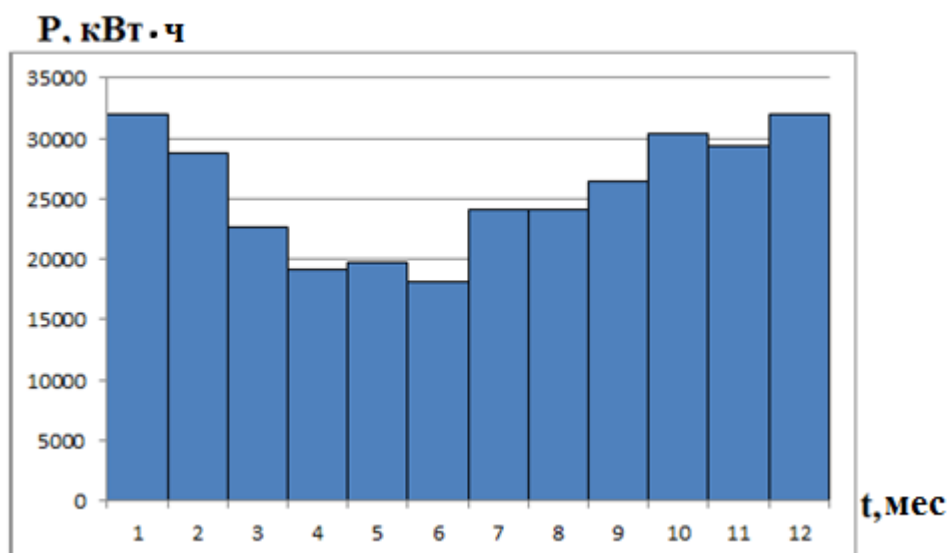


Рисунок 18 - Потребность в электроэнергии

Анализируя приведенные выше графики можно сделать следующие выводы:

1) Наиболее благоприятными месяцами для использования солнечных модулей являются май, июнь и июль, так как в течение этих месяцев наблюдаются полярные дни;

2) Начиная с октября и по март, наблюдается минимальное количество суммарной солнечной радиации и максимальный спрос на электроэнергию. Электроснабжение поселка осуществляется с применением топливных источников электроэнергии;

3) В зависимости от суммарной солнечной радиации в разные месяца могут понадобиться топливные источники разных мощностей и различные объемы топливных ресурсов, за счет чего будет осуществляться экономия денежных средств.

Учитывая данные особенности, рассмотрим в дальнейшем вариант полного покрытия спроса на электроэнергию в мае и июне, используя солнечную энергию.



## 2.2 Разработка структурной схемы системы электроснабжения

Гибридная система электроснабжения должна иметь в своём составе, как минимум два независимых источника электроэнергии. В нашем случае – это солнечный потенциал и дизельное топливо. В качестве основного источника энергии будем использовать фотоэлектрические панели (ФЭП), а в качестве резервного источника – дизель-генератор (ДГ) (рисунок 19).

Питание от ДГ включается тогда, когда накопленной аккумулятором мощности не хватает обеспечить нагрузку, либо во время полярных ночей. Для работы с максимальным КПД при вынужденной работе генератора необходимо заряжать аккумуляторные батареи.

Система электроснабжения может быть выполнена по однофазной схеме или трёхфазной. Как правило, ФЭУ генерирует энергию постоянного тока на одном напряжении и через контроллер заряда заряжает аккумуляторные батареи. В периоды максимальных нагрузок, когда глубина разрядки аккумуляторов достигает предельного значения, автоматически должен запускаться ДГ и обеспечить бесперебойное электроснабжение электроприёмников. Для преобразования постоянного тока в переменный в системе предусмотрен инвертор.

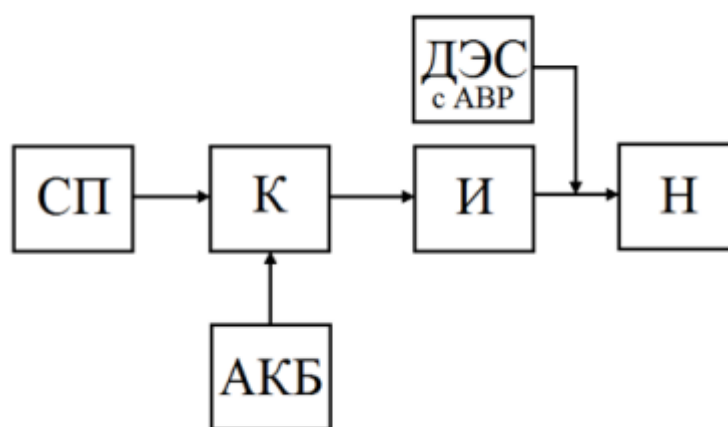


Рисунок 19 - Гибридная система электроснабжения

На рисунке 19 ДЭС с АВР – дизельная электростанция с автоматическим вводом резерва, СП – солнечные панели, К – контроллер, АКБ – аккумуляторные батареи, И – инвертор, Н – нагрузка.

Разработку схем электроснабжения предлагается разделить на: электроснабжение от возобновляемых источников энергии и электроснабжение от дизельных генераторов.

### 3 Выбор оборудования

#### 3.1 Типы солнечных батарей, их характеристики

Солнечная батарея состоит из отдельных солнечных элементов (СЭ), которые, соединяясь вместе, обеспечивают необходимую мощность батареи.

Работа СЭ заключается в использовании явления фотоэффекта. Суть фотоэффекта заключается в том, что фотоны света, как основа солнечного излучения, могут выбивать электроны или с поверхности тел (внешний фотоэффект) или только из кристаллической решетки внутри полупроводника (внутренний фотоэффект) (рисунок 20).

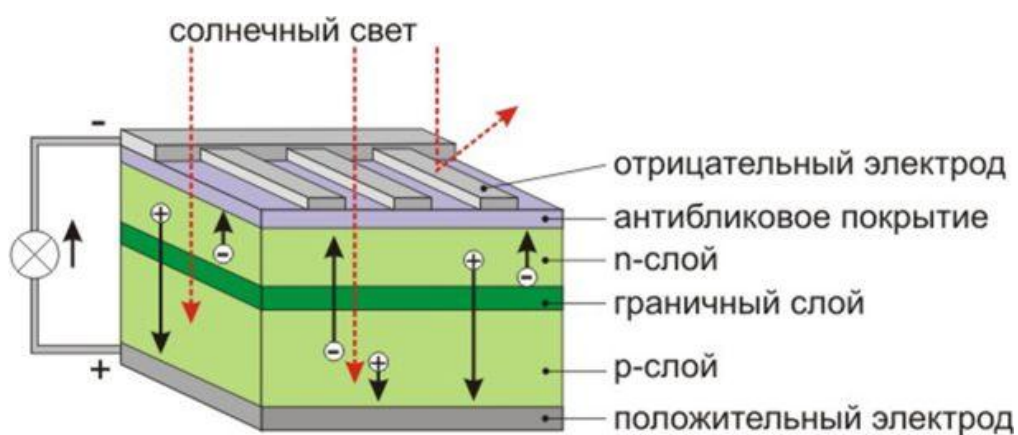


Рисунок 20 – Структура солнечного модуля

Неравновесные носители заряда (электронно-дырочные пары), созданные светом в обоих слоях ФЭП, разделяются на p-n-переходе: электроны свободно проходят через переход, а дырки - задерживаются. При

размыкании внешней цепи электроны из n-слоя, совершив работу на нагрузке, возвращаются в p-слой и там рекомбинируют с дырками, движущимися внутри ФЭП в противоположном направлении. Для сбора и отвода электронов во внешнюю цепь на поверхности полупроводниковой структуры ФЭП имеется контактная система. На передней, освещённой поверхности преобразователя контакты выполняются в виде сетки или гребёнки, а на тыльной могут быть сплошными. При подключении к элементу нагрузки сила тока возрастает пропорционально яркости солнечного света, вплоть до определенного критического значения [22].

В настоящее время на рынке наиболее распространены пять типов солнечных батарей, различающихся материалами, из которых изготовлены их элементы.

### **3.1.1 Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов**

Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов (рисунок 21) более эффективны, но и более дороги в пересчете на ватт мощности. Их КПД, как правило, в диапазоне 14-16% [23].

Основной материал - крайне чистый кремний, который проходит несколько стадий очистки от примесей. Кремниевый монокристалл растет на семени, которое медленно вытягивается из кремниевого расплава. Стержни, полученные таким путем, режутся на части толщиной от 0,2 до 0,4 мм. Затем эти диски подвергаются ряду производственных операций.



Рисунок 21 – Внешний вид панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов

Обычно монокристаллические элементы имеют форму многоугольников, которыми трудно заполнить всю площадь панели без остатка. В результате удельная мощность солнечной батареи несколько ниже, чем удельная мощность отдельного ее элемента [23].

### **3.1.2 Солнечные панели на основе поликристаллических фотоэлектрических элементов**

Поликристаллический кремний изготавливается намного легче, поскольку материал состоит из случайно собранных разных монокристаллических решеток кремния.

Солнечные панели из поликристаллических фотоэлектрических элементов наиболее распространены по причине оптимального соотношения цены и КПД среди всех разновидностей панелей. Их КПД составляет от 12 до 15%. У элементов панели характерный синий цвет и кристаллическая структура.

Поликристаллический кремний формируется в течение медленного охлаждения кремния. Во время производства поликристаллических панелей операция вытягивания, присущая производству монокристаллических элементов, не осуществляется, что делает производство менее энергоемким и более дешевым. Однако внутри кристалла поликристаллического кремния

имеются области, отделенные зернистыми границами, приводящие к меньшей эффективности элементов [23].

Далее речь пойдет о тонкопленочных солнечных батареях. Все данные типы батарей имеют два основных преимущества по сравнению с кремниевыми: хорошая гибкость и легкость.

Три основных вида тонкопленочных солнечных батарей будут рассмотрены подробно ниже.

### **3.1.3 Солнечные батареи из аморфного кремния**

Солнечные батареи из аморфного кремния обладают одним из самых низких КПД: 6-8%. Однако среди всех кремниевых технологий фотоэлектрических преобразователей они вырабатывают самую дешевую электроэнергию из-за дешевизны производства и, как следствия, низкой себестоимости элементов.

Аморфный кремний получается при помощи «техники испарительной фазы», когда тонкая пленка кремния осаждается на несущий материал и защищается покрытием. Эта технология имеет ряд недостатков и преимуществ.

Преимущества:

- процесс производства относительно простой и дешевый;
- возможно производство элементов большой площади;
- низкое энергопотребление.

Недостатки:

- Низкая эффективность преобразования;
- Процесс деградации вследствие выгорания слоев кремния под воздействием солнечной радиации, что приводит к снижению эффективности уже через несколько месяцев на 20% (срок службы от 8 до 10 лет) [23].

### **3.1.4 Солнечные панели из теллурида кадмия**

Солнечные панели из теллурида кадмия (CdTe) создаются также на основе пленочной технологии. Полупроводниковый слой наносят на подложку в несколько сотен микрометров. Эффективность элементов из теллурида кадмия невелика, КПД около 11%. Однако, в сравнении с кремниевыми панелями, один ватт мощности данных батарей обходится на несколько десятков процентов дешевле.

### **3.1.5 Солнечные панели на основе CIGS**

CIGS – это полупроводник, состоящий из меди, индия, галлия и селена. Пленку этого состава получают путем распыления меди, индия и галлия с дальнейшей обработкой парами селена. В сравнении с панелями из теллурида кадмия обладает более высокой эффективностью, его КПД доходит до 15%.

При осуществлении выбора солнечных батарей обратим внимание именно на батареи из кристаллического кремния. Выбор в пользу кремниевых, а не тонкопленочных элементов обусловлен следующими обстоятельствами:

- Батареи на основе аморфного кремния имеют ярко выраженный недостаток в виде деградации.

- Солнечные панели из теллурида кадмия имеют низкую эффективность преобразования и малое распространение не только на российском, но и на мировом рынке (6% от общего объема батарей).

Выбор солнечных элементов главным образом осуществляется исходя из того, что данный тип ФП должен обеспечить необходимую мощность всей системы. Одинаковую мощность фотоэлектростанции можно получить, устанавливая любые типы ФП, но чем больше КПД панели, тем меньшее количество понадобится в конечном итоге и меньшая площадь для их размещения.

Например, при использовании солнечных панелей типа 120 W TW-TF 120 с КПД 8,7%, общая площадь панелей для получения 1 кВт составит 11,5 м<sup>2</sup> при стандартных условиях (интенсивность солнечного излучения 1000 Вт/м<sup>2</sup> и рабочей температуре панели 25 °С [24]); при использовании модуля типа HSE300-72M с КПД 16% общая площадь составит 6,25 м<sup>2</sup> так же при стандартных условиях.

Для определения фактической выработки электроэнергии солнечными батареями используем данные о суммарной солнечной радиации и технические характеристики модулей (КПД, площадь рабочей поверхности батареи).

### **3.3 Выбор солнечных модулей**

Выбор солнечных модулей осуществляется на основе мировой практики производства и эксплуатации солнечных элементов. Из всего представленного многообразия продукции наиболее оптимальным соотношением цены и мощности, а также высоким качеством, обладают монокристаллические солнечные модули типа HSE300-72M (рисунок 22) компании Helios SolarWorks [24].



Рисунок 22 – Солнечный модуль марки HSE300-72M

Технические характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Характеристика солнечных модулей

Максимальная мощность	300 Вт
Номинальное напряжение	24 В
Напряжение холостого хода	44,6 В
Ток короткого замыкания	8,74 А
Ток в точке максимальной мощности	8,21 А
Температура эксплуатации	-40...+85 °С
Размеры	1950 x 990 x 45 мм <sup>2</sup>
Вес	24 кг
Структура (элементы)	Монокристаллическая
Количество ячеек	72 (6x12) шт.
Максимальное напряжение системы	1000 постоянного тока
Стоимость, руб	22680

Однако следует учитывать зазор между элементами, поэтому от общей площади модуля отнимаем 3% и получаем рабочую площадь для дальнейших расчетов [19].

$$S_{m1} = 1,95 \cdot 0,99 = 1,9305 \text{ м}^2$$

$$S_{mp} = S_{m1} \cdot 0,97 = 1,873 \text{ м}^2.$$

Для повышения эффективности работы солнечных панелей необходима их правильная ориентация на солнце. Наилучшие условия для генерации электроэнергии будут при ярком солнце и при ориентации панелей перпендикулярно солнечному свету. Для местностей северного полушария панели должны быть ориентированы на юг, для стран южного полушария - на север [22].

Оптимальный угол наклона панелей для летнего и зимнего времен года был определен ранее.

Далее найдем необходимое количество солнечных модулей для покрытия спроса на электроэнергию в мае, так солнечная инсоляция в



данный месяц - максимальна. Для этого принимаем  $W_{\text{мод}} = W_{\text{треб}} = 19747 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  и находим необходимую площадь солнечных батарей.

$$S_{\text{треб}} = \frac{W_{\text{треб}}}{\eta \cdot Q_c}, \quad (9)$$

$$S_{\text{треб}} = \frac{19747}{183,34 \cdot 0,14} = 770 \text{ м}^2$$

Зная требуемую площадь и площадь одного модуля, можно найти необходимое количество и стоимость модулей:

$$N = \frac{S_{\text{треб}}}{S_{\text{мод}}}, \quad (10)$$

где  $S_{\text{мод}}$  – площадь одного модуля ( $\text{м}^2$ )

$$N = \frac{770}{1,873} = 412$$

К установке принимаем 432 солнечных модулей для того, чтобы иметь возможность соединить солнечные модули последовательно-параллельно. А именно, 9 параллельных ветвей по 8 солнечных панели в каждой, соединенных последовательно. И таких 6 отдельных ФОЭ, расположенных территориально в одной местности.

В зависимости от количества суммарной месячной радиации данные модули будут производить различное количество электроэнергии. Используя соотношение (1) найдем объемы электроэнергии, вырабатываемые модулями в каждом месяце (таблица 10).

Таблица 10 - Электроэнергия, вырабатываемая солнечными модулями

	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.
$W_{\text{мод}}$ (кВт·ч)	6421	13840	21176	19125	19263	12308	5355	2226
Площадь модулей- $S_{\text{мод}}$ ( $\text{м}^2$ )	809							

Продолжение таблицы 10

Кол-во модулей – N	432
Стоимость (руб.)	9 797 760

Таким образом, в мае и июне будет вырабатываться достаточное количество электроэнергии для удовлетворения потребностей населения. В остальные месяца образуется дефицит электроэнергии, который обуславливает необходимость применения дизельных генераторов в качестве дополнительных источников питания.

Таблица 11 - Баланс электроэнергии при использовании солнечных модулей

Месяц	Солнечная радиация- $Q_c$ (кВтч/м <sup>2</sup> )	Требуемое количество Э.Э.- $W_{треб}$ (кВт·ч)	Э.Э солнечных модулей- $W_{мод}$ (кВт·ч)	Дефицит электроэнергии - $W_d$ (кВт·ч)
Март	55,6	22568	6420,9	-16147,1
Апрель	119,8	19110	13839,3	-5270,7
Май	183,3	19747	21175,8	1428,8
Июнь	165,6	18165	19124,1	959,1
Июль	166,8	24134	19262,7	-4870,3
Август	106,6	24134	12308,1	-11825,9
Сентябрь	46,4	26460	-	-26460
Октябрь	19,3	30380	-	-30380

Выбираются солнечные панели на летний сезон, когда солнечная активность максимальна при минимальной нагрузке, а ДГУ выбирается на

зимний сезон, когда солнечная активность минимальна, а нагрузка в течение суток максимальна. В весенний период будет использована какая-то часть солнечной радиации, чтобы сократить расход дизельного топлива. В осенний период вырабатываемой мощности панелями недостаточно даже для того, чтобы покрыть мощность нагрузки, в связи с этим будет работать только дизель-генератор, так как фотоэлектростанция предусматривает раздельную работу с дизель-генератором. Но СП будут работать круглый год, чтобы поддерживать заряд АКБ во время зимнего и осеннего периодов с целью продления их срока службы. Но осенью и зимой нагрузка будет отключена от ФЭС и полностью обеспечиваться дизель-генератором.

### **3.4 Выбор контроллера, аккумуляторных батарей и инвертора**

#### **3.4.1 Выбор аккумуляторных батарей**

Эффективность и надежность фотоэлектростанции повышается с применением аккумуляторных батарей, так как это позволит запастись избыточную вырабатываемую мощность солнечными панелями и использовать ее в дальнейшем, когда солнечная активность будет не так высока.

Принимаем к установке аккумулятор DELTA DTM 12200L [25].

При выборе аккумуляторных батарей необходимо учитывать тот факт, что для продолжительного срока службы при эксплуатации аккумуляторная батарея всегда должна сохранять не менее 40% заряда [22].

Даже при наличии полярного дня, в течение суток наблюдается наличие сумерек, когда солнечная активность не так высока. В связи с этим, будет рассмотрена работа оборудования в течение характерных суток для мая и июня месяцев, когда наблюдается наличие достаточной вырабатываемой мощности для покрытия требуемой нагрузки. Суточные характерные нагрузки приведены на рисунках 23 и 24.

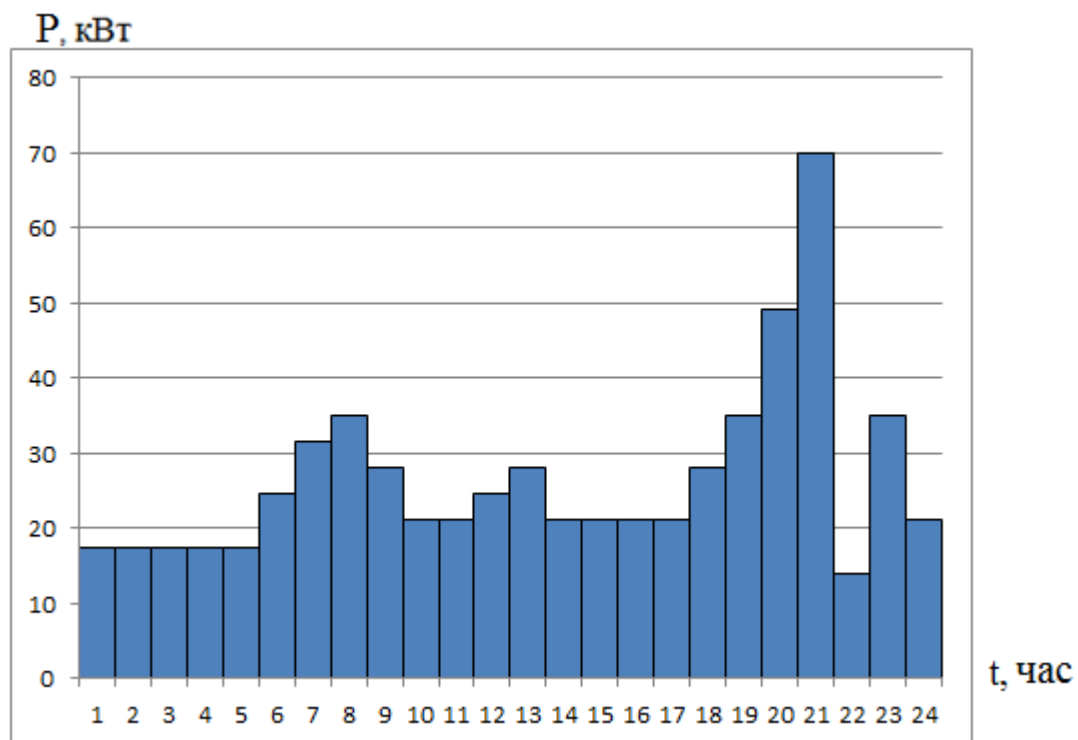


Рисунок 23 – График весеннего суточного потребления активной мощности  
(май)

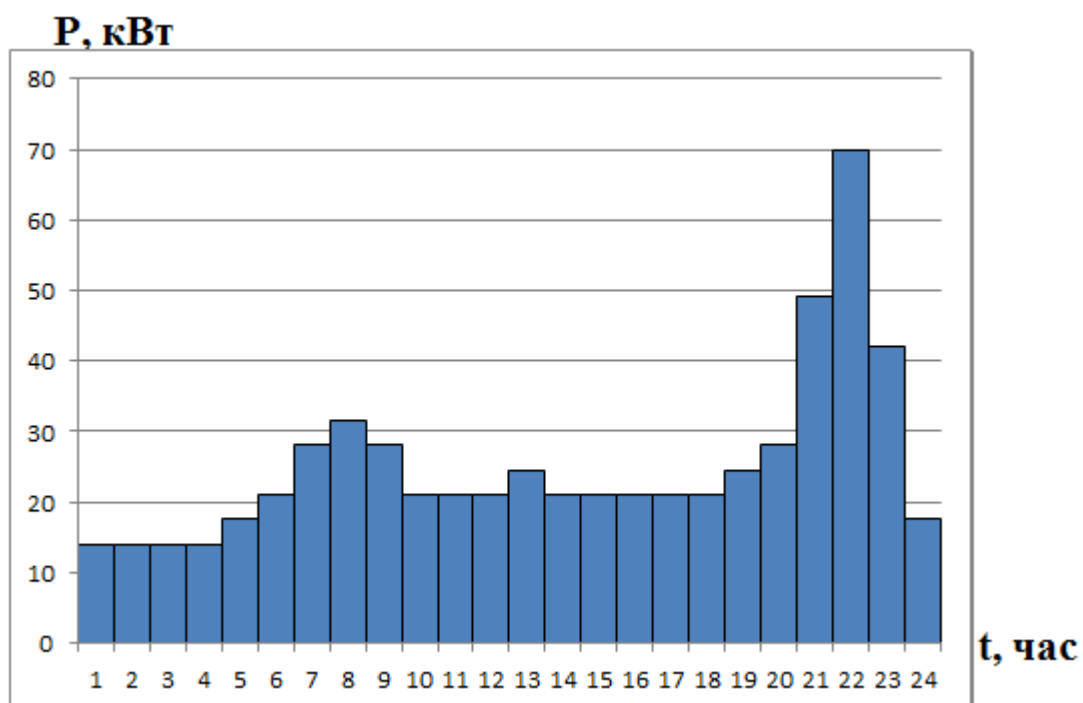


Рисунок 24 – График летнего суточного потребления активной мощности  
(июнь)

Также известны значения почасовой солнечной радиации из Справочника климата СССР, данные взяты при средних условиях облачности, кроме того было учтено, как и ранее, что при расположении панелей под оптимальным углом выработка электроэнергии увеличивается в 1,5 раза, но также присутствуют 30% потери мощности. Данные сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Почасовая суммарная солнечная инсоляция при средних условиях облачности и выработка мощности солнечными панелями

Время, ч	Солнечная инсоляция, кВт/м <sup>2</sup>		Выработка электрической мощности фотопанелями (420 штук), кВт/м <sup>2</sup>	
	Май	Июнь	Май	Июнь
0-1	0,00	0,01	0,00	1,16
1-2	0,01	0,02	1,16	2,31
2-3	0,01	0,04	1,16	4,62
3-4	0,04	0,08	4,62	9,24
4-5	0,09	0,12	10,40	13,86
5-6	0,16	0,19	18,48	21,95
6-7	0,24	0,22	27,72	25,41
7-8	0,32	0,28	36,96	32,34
8-9	0,39	0,34	45,05	39,27
9-10	0,46	0,40	53,13	46,20
10-11	0,51	0,45	58,91	51,98
11-12	0,55	0,47	63,53	54,29
12-13	0,55	0,47	63,53	54,29
13-14	0,52	0,45	60,06	51,98
14-15	0,47	0,41	54,29	47,36
15-16	0,41	0,35	47,36	40,43
16-17	0,34	0,31	39,27	35,81

Продолжение таблицы 12

17-18	0,26	0,25	30,03	28,88
18-19	0,17	0,19	19,64	21,95
19-20	0,11	0,13	12,71	15,02
20-21	0,07	0,08	8,09	9,24
21-22	0,03	0,04	3,47	4,62
22-23	0,01	0,02	1,16	2,31
23-24	0,00	0,01	0,00	1,16

В таблице 13 сведены данные по суточным почасовым нагрузкам для характерных дней в мае и июне месяце, а также разница между вырабатываемой мощностью и мощностью нагрузки.

Таблица 13 – Почасовые данные мощности нагрузок и вырабатываемой мощности

Время, ч	Мощность нагрузки, кВт		Разница между вырабатываемой и необходимой мощностями, кВт	
	Май	Июнь	Май	Июнь
0-1	17,5	14	-17,50	-12,85
1-2	17,5	14	-16,35	-11,69
2-3	17,5	14	-16,35	-9,38
3-4	17,5	14	-12,88	-4,76
4-5	17,5	17,5	-7,11	-3,64
5-6	24,5	21	-6,02	0,95
6-7	31,5	28	-3,78	-2,59
7-8	35	31,5	1,96	0,84
8-9	28	28	17,05	11,27
9-10	21	21	32,13	25,20
10-11	21	21	37,91	30,98
11-12	24,5	21	39,03	33,29
12-13	28	24,5	35,53	29,79

Продолжение таблицы 13

13-14	21	21	39,06	30,98
14-15	21	21	33,29	26,36
15-16	21	21	26,36	19,43
16-17	21	21	18,27	14,81
17-18	28	21	2,03	7,88
18-19	35	24,5	-15,37	-2,56
19-20	49	28	-36,30	-12,99
20-21	70	49	-61,92	-39,76
21-22	14	70	-10,54	-65,38
22-23	35	42	-33,85	-39,69
23-24	21	17,5	-21,00	-16,35

На рисунках 25 и 26 представлены графики мощности нагрузки и солнечной инсоляции.

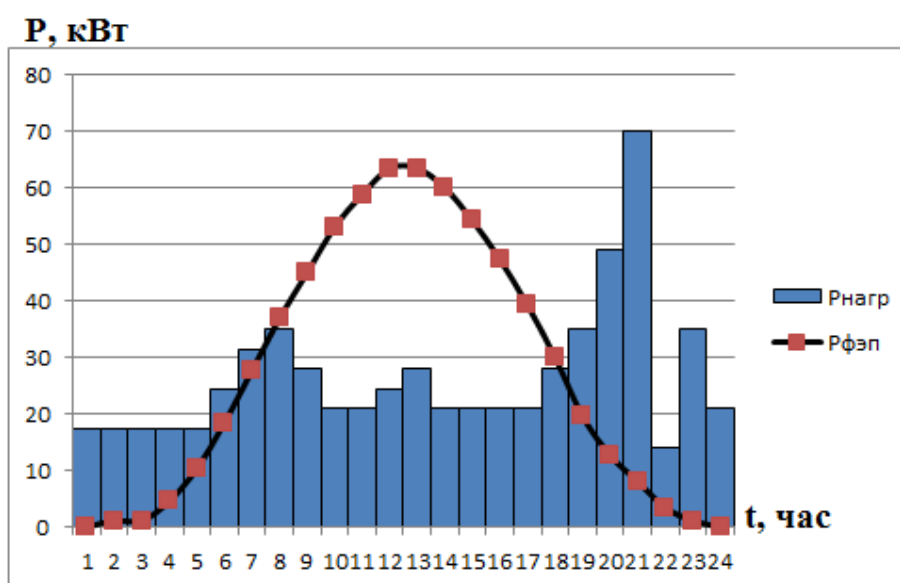


Рисунок 25 – Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции  
(май)

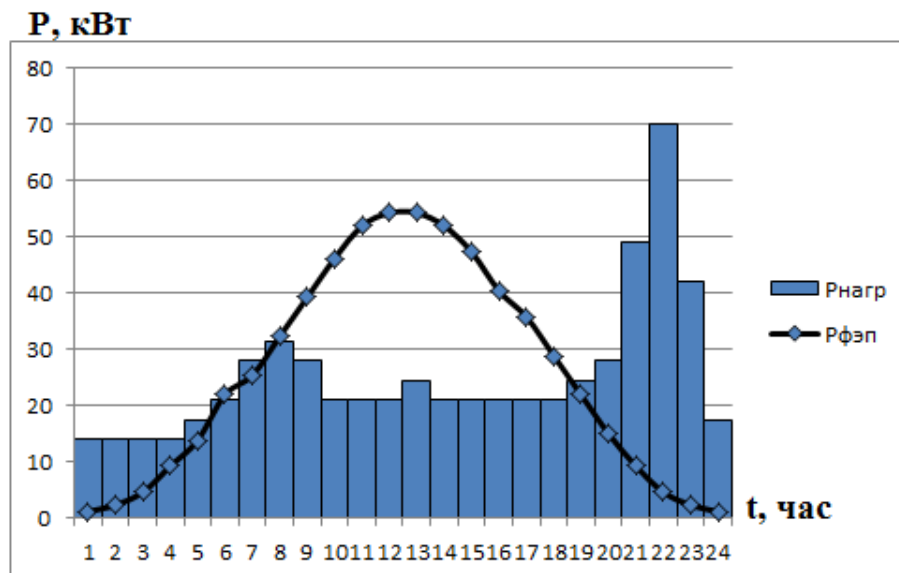


Рисунок 26 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции (июнь)

Как видно из рисунков 25 и 26, начиная с 7 часов утра до 18 часов вечера, солнечная инсоляция максимальна, и требуемая нагрузка покрывается полностью. Кроме того, вырабатывается излишняя энергия, которую необходимо накапливать в аккумуляторных батареях и использовать в те часы, когда это необходимо. Максимальная излишняя энергия, которую следует запасть, наблюдается в период с 7 часов утра до 18 часов вечера, и она составляет 282,6 кВт\*ч. Суточные графики мощности нагрузки и солнечной инсоляции для остальных месяцев представлены в Приложении А.

Характеристики выбранного аккумулятора приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Характеристики аккумуляторной батареи [25]

Напряжение	12 В
Емкость	200 А·ч
Диапазон рабочих температур	Разряд: от -20°C до +60°C Заряд: от -10°C до +50°C Хранение: от -20 °C до +60 °C
Активный материал	Свинец
Максимальный ток заряда	60 А



Продолжение таблицы 14

Электролит	Серная кислота высокой чистоты
Размеры	522 х 238 х 223 мм
Вес	65,5 кг
Стоимость	29 975 руб

Расчет емкости батареи с учетом потерь и допустимой глубины разряда осуществляется по следующей формуле:

$$W_{\text{АКБ}} = \frac{U \cdot C_I \cdot k_{\text{разр.АКБ}}}{1000}, \quad (11)$$

$$W_{\text{АКБ}} = \frac{12 \cdot 200 \cdot 0,4}{1000} = 0,96, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $U$  - номинальное напряжение, В;

$C_I$  - номинальная емкость, А·ч;

$k_{\text{разр.АКБ}}$  - коэффициент разряда батареи (разряжать можно до 40%).

С учетом потерь на заряд-разряд, потребуется следующее количество аккумуляторов:

$$n = \frac{W_{\text{изб}}}{W_{\text{акб}} \cdot 1,1}, \quad (12)$$

где  $W_{\text{изб}}$  – избыточная электроэнергия, которую можно запасти, кВтч

$$n = \frac{282,62}{0,96 \cdot 1,1} \approx 268 \text{ блоков}$$

Таким образом, принимаем к установке 288 блоков АКБ: 12 параллельных ветвей АКБ по 4 аккумулятора в каждой, соединенных последовательно. И таких 6 отдельных ФОЭ, расположенных территориально в одной местности.

### 3.4.2 Выбор контроллера

Выбранный тип солнечных батарей рекомендуется комплектовать серией универсальных контроллеров заряда-разряда аккумуляторов Prosolar SunStar MPPT SS 240CX (рисунок 27) [26].



Рисунок 27 - MPPT Контроллер заряда АКБ для солнечных модулей

Такие контроллеры обеспечивают следующий функционал:

- Комбинирует в себе встроенную функцию MPPT (Maximum Power Point Tracking — слежение за точкой максимальной мощности солнечной батареи), управление зарядом аккумулятора, вывод информации о состоянии заряженности аккумуляторной батареи.
- Поддержка максимальной выходной мощности без ее снижения при температуре окружающей среды до 50 °C.
- Встроенный алгоритм контроля энергии в аккумуляторе отслеживает отдаваемую и потребляемую энергию, на основе чего рассчитывается оставшаяся в аккумуляторе энергия. Степень заряженности аккумулятора отображается в процентах от полного заряда, в А·ч, в Вт·ч.
- Может использоваться со свинцово-кислотными, гелевыми и AGM-аккумуляторами, выполняет 2/3/4-стадии заряда с возможностью

регулирования всех параметров и режимов заряда.

- Для данных моделей оптимальным является подключение цепи фотоэлектрических модулей до 192В постоянного тока (максимальное напряжение 240В).

- Возможность объединения в одну систему до 16 контроллеров для обеспечения более высоких токов заряда.

- Точная зарядка аккумуляторов напряжением 12В/24В/36В/48В с простой настройкой параметров и использованием отдельных проводов для датчика напряжения аккумулятора.

- Встроенная функция температурной компенсации для безопасной и полной зарядки аккумуляторов.

- Может заряжать свинцово-кислотные аккумуляторы: с жидким электролитом, гелевые, AGM, а также литиевые LiFePO<sub>4</sub> аккумуляторы.

К установке приминаем 6 контроллеров.

### **3.4.3 Выбор инвертора**

Выбор инвертора осуществляется по следующим важным характеристикам:

#### **1. Входное напряжение.**

Так как в нашем случае выходное напряжение контроллера составляет 48 В, и для выходной мощности более 1500 Вт, рекомендуется использовать данное напряжение с целью снижения потерь [27], то выбираем инвертор с входным напряжением 48 В.

#### **2. Номинальная и пиковая выходная мощность.**

Номинальная выходная мощность инвертора должна быть равна сумме мощностей всех нагрузок. Однако при упрощенном расчете делают выбор по нагрузке с максимальной мощностью, т.е.

$$P_{\text{макс.расч}} = P_{\text{расч}} = 100, \text{ кВт.}$$

#### **3. Форма выходного напряжения.**

Форма выходного напряжения должна быть чисто синусоидальной с целью обеспечения качественной электроэнергией электроприемники.

Так как максимальная мощность нагрузки равна 100 кВт, то выбираем 6 инверторов «Dominator» мощностью 20 кВт компании МикроАрт [28]. Технические характеристики выбранного инвертора приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Характеристики инвертора

Номинальная мощность	20 кВт
Входное напряжение	48 В
Выходное напряжение	220 В
Частота выходного напряжения	50 Гц
Выходной сигнал	Чистая синусоида
КПД	92-96
Min / Max емкость АБ	800/2400 А·ч
Размер	550 x 217 x 153 мм
Стоимость	222 700, руб

В данный вид инвертора встроен микрокомпьютер, который позволяет следить за электропитанием и управлять им, в том числе дистанционно. Наличие собственного встроенного микрокомпьютера, подключение которого к LAN осуществляется с помощью 10/100 Ethernet порта. Он работает и собирает данные на flash - накопитель независимо от того, используется компьютер или нет (функция чёрного ящика). Микроконтроллер мониторит, отображает и сохраняет все доступные параметры инвертора МАП, солнечного контроллера, внешней сети 220 В и подключённой нагрузки. Позволяет не только получать уведомления по заданным событиям, но и управлять работой МАП, а также запрашивать отчеты о состоянии.

Кроме того, измеряет текущую ёмкость АКБ и позволяет отключать генерацию 220В от инвертора МАП по заданной степени разряда АКБ (функция монитора АКБ). Умеет строить синхронные графики по параметрам устройств и воспроизводить их с заданного времени/даты. А также строить графики по накопленным данным.

Также инвертор МАП «Dominator» обладает таким важным преимуществом как: умение синхронизироваться не только с сетью 220В (или с электрогенератором), но и параллельно между другими инверторами МАП «Dominator» (до 10 шт параллельно).

Умеет отображать в таблице все текущие настройки МАП для сервиса и справки [28].

### **3.5 Принципиальная схема фотоэлектростанции**

На рисунке 28 представлена принципиальная схема расположения оборудования фотоэлектростанции.

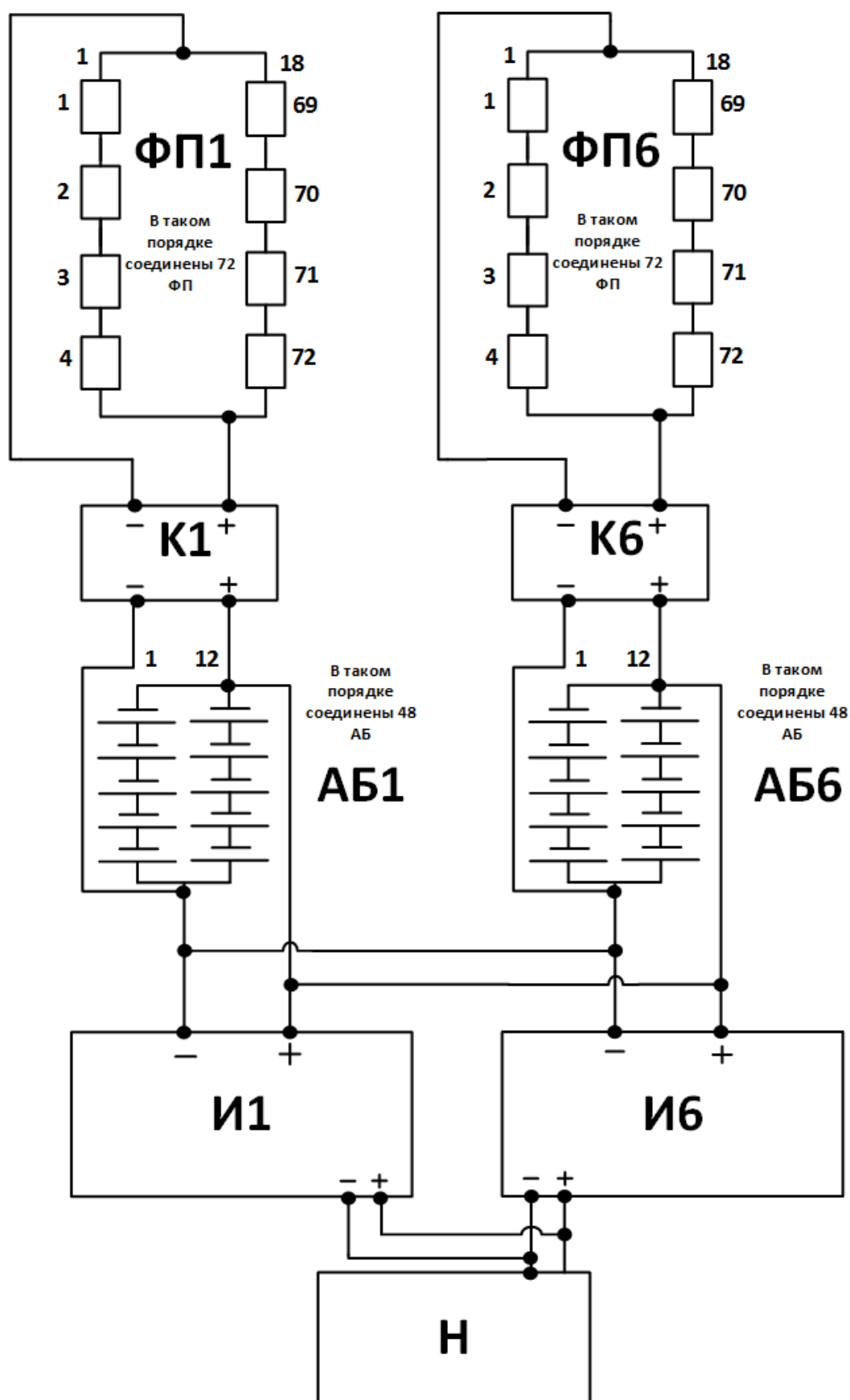


Рисунок 28 - Принципиальная схема расположения оборудования фотоэлектростанции

#### 4 Алгоритм работы системы электроснабжения объекта

При разработке алгоритма управления необходимо руководствоваться следующим: максимально использовать мощность, генерируемую солнечными панелями и при этом минимизировать работу дизель-генератора.

Система электроснабжения может работать при следующих режимах:

- работают только фотопанели (солнце есть);
- работает только дизель-генератор (солнца нет);
- работают только аккумуляторные батареи (солнца нет);

Также возможен вариант, когда параллельно работают фотопанели и дизель-генератор, однако для данного режима необходимо специальное оборудование и условия, которые крайне тяжело найти и соблюсти. Поэтому вариант с параллельной работой не рассматривается.

Алгоритм работы представлен на рисунке 29.

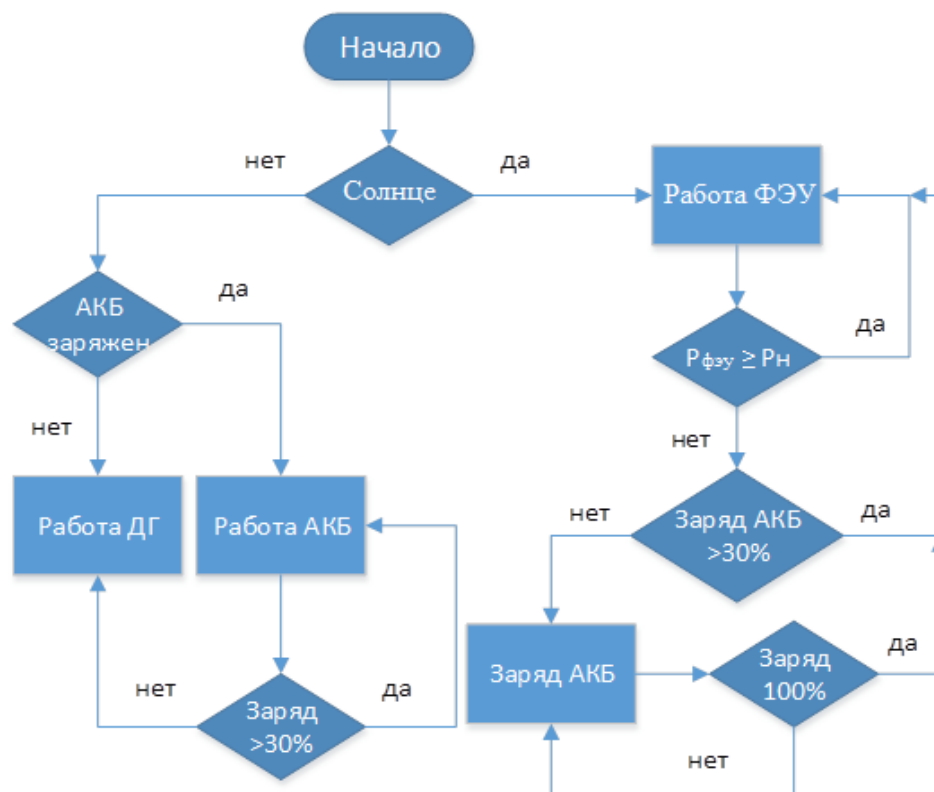


Рисунок 29 – Алгоритм работы системы электроснабжения

## **5 Financial Management, Resource Efficiency and Resource conservation**

### **5.1 Theoretical background**

There are some most important investment criteria in financial model. It is [29]:

- Net Present Value (NPV);
- Internal Rate of Return (IRR);
- Profitability Index (PI);
- Payback Period (PP).

I will write more detailed about each criterion further.

#### **5.1.1 Net Present Value**

The difference between a project's value and its cost is Net Present Value (NPV) [30].

NPV is used in capital budgeting to analyze the profitability of a projected investment or project.

The following is the formula for calculating NPV [31]:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (13)$$

where  $C_t$  - net cash inflow during the period  $t$ ;

$C_0$  - total initial investment costs;

$r$  - discount rate;

$t$  - number of time periods.



Net Present Value Rule says that investments should be made only for positive NPV values [31].

### 5.1.2 Internal Rate of Return

The discount rate that makes NPV 0 is the rate of return [30].

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^T \frac{CF_i}{(1 + IRR)^i} = 0 \quad (14)$$

where  $CF_i$  - cash flows (both inflow and outflow);

$C_0$  - total initial investment costs;

NPV – net present value;

T - number of time periods.

And the rule of IRR says: “Accept investment opportunities offering rates of return in excess of their opportunity costs of capital.” [30]

### 5.1.3 Profitability Index (PI)

Profitability index is the value which illustrates the ratio of project’s future cash flows in the present value over investments. The formula is showed below [30]:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^T DCF_i (1 + r)^i}{INV}, \quad (15)$$

Where

DCF – discounted cash flow;

r – discount rate;

INV – investments;

T – lifetime period.

“The rule of profitability index” claims: if a project has profitability index higher than one, it should be accepted, otherwise – the better way is to avoid it [32].

#### **5.1.4 Payback period**

A project's payback period is found by counting the number of years it takes before the cumulative cash flow equals the initial investment.

The payback rule states that a project should be accepted if its payback period is less than some specified cutoff period. Moreover, the payback rule ignores all cash flows after the cutoff date [30].

As it was mentioned before, simple payback period is the period of time which is needed to return the investments. The simple description is represented below:

$$(C_i - C_0)_1 + (C_i - C_0)_2 + \dots + (C_i - C_0)_T = \sum_{i=1}^T (C_i - C_0)_t \geq C_0 \quad (16)$$

where  $C_0$  – cash outflow;

$C_i$  – cash inflow.

### **5.2 Economic parameters**

#### **5.2.1 Inflation**

Inflation is a sustained increase in the general price level of goods and services in an economy over a period of time [33], but government controls increasing of prices in some fields. So, according to Scenario conditions of socio-economic development of the Russian Federation the inflation rate is 4% [34].

#### **5.2.2 Tax shield**

It is government project, so, no any taxes in this case.

### 5.2.3 Depreciation

There are two main methods of depreciation in financial management:

1. Straight-Line Method;
2. Accelerated Method.

The Straight Line Method is the simplest method. This amortization method based on the basic equation:

$$D = \frac{INV}{T}, \quad (17)$$

where INV – investments of each item,

T – item's lifetime.

Accelerated methods used in accounting for higher values of depreciation in the beginning of the lifetime period [35]. So, these methods had good impact on cash flow if the project would have a few amount of money in the earlier years.

In my project Straight-Line Method will be used. But the different lifetime is for the different equipment, so, the depreciation will be also changed.

### 5.2.4 Discount rate

Discount rate is the interest rate that is used to re-evaluate the value of future capital at the current time [36].

It is government project, so, according to Decree of the Russian Federation Government №1470 [37], the next value of the discount rate for the investment money into the new technology is there. It is 18-20%, I take 18%.

## 5.3 Financial model

To calculate financial model I need as technical data as data of economic parameters. I have described found economic parameters above. As for technical

parameters and costs of equipment, the data from previous chapters are presented in the table 16.

Table 16 – Collected Data for the financial model

Item	Units of each item
Installed Power, kW	129,6
Investment per 1 kW, RUB	392 126
Tmax, hours	692
Tl of photovoltaic panels, years	20
Tl of accumulator batteries, years	7
Tl of controllers, years	10
Tl of inverters, years	10
Discount rate, %	18
Operation cost, RUB	1%
Existing price, RUB per 1 kWh	100
Escalation rate, %	4

### **5.3.1 Net Present Value (NPV)**

In my model I got negative NPV and its result is -42,8 million rubles with price for electricity 95 RUB (Appendix B, Table B.1).

### **5.3.2 Internal Rate of Return (IRR)**

The value of IRR in my project is absent, because the project is absolutely not economic effective.

### **5.3.3 Profitability Index (PI)**

The value of profitability Index is presented below:

$$PI = \frac{18303034}{47288732} = 0,39.$$

According to “the rule of profitability index” it is better to avoid this project, because PI is less, than one.

#### **5.3.4 Payback Period (PP)**

Payback Period is bigger than lifetime of the project that is why this project should not be accepted.

All calculation results of financial model are presented in the Appendix B. The minimum price for 1 kW is 579 RUB, when NPV is 0, but now the existing price is 100 RUB, that means absolutely not economic effective project.

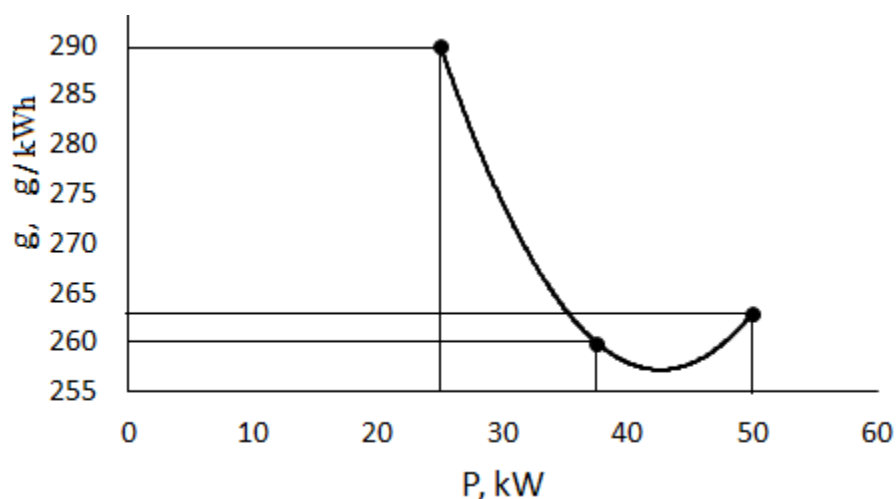
### **5.4 Comparative analysis of two power supply system operations**

I will present a comparative analysis of two power supply system operations. The first variant includes photovoltaic panels, storage batteries and diesel generators. The second variant includes only diesel generators. Comparative analysis will be carried out according to the amount of fuel consumption.

The final cost of diesel fuel on the far North is 52.0 RUB / liter according to the prices of supplier [39].

#### **5.4.1 Diesel generators power supply**

I will define the total fuel consumption when only diesel generators operate. The fuel consumption at the nominal load is known from the passport data [16], but since the generator is loaded in each hour differently depending on the season, it is necessary to calculate the fuel consumption for a given load value. I know consumption of fuel from the passport data in three points: when the load is 50%, 75% and 100%. So, the curve of consumption and equation of this dependence are presented on the picture 21.



Picture 30 - Dependence of fuel consumption on load

From the picture 30 it is obtained that the minimum consumption (257 g/kWh) will be, when the load is 85%. So, according to this curve I can calculate fuel consumption for different loads in each month. Data of loads are taken from table 4. The table with calculated results of fuel consumption depending on load is presented in Appendix C.

The calculated monthly consumption of fuel and its prices are presented below.

Table 17 - The monthly consumption of fuel and its prices

Month	Per day, l	Per month, l	Price, RUB	Total cost, RUB
January	234	7254	52	377 208
February	234	6552	52	340 704
March	242	7502	52	390 104
April	242	7260	52	377 520
May	242	7502	52	390 104
June	213	6390	52	332 280
July	213	6603	52	343 356
August	213	6603	52	343 356
September	290	8700	52	452 400

Continue of Table 17

October	290	8990	52	467 480
November	290	8990	52	467 480
December	234	7254	52	377 208
<b>Totally</b>	-	<b>89600</b>	52	<b>4 659 200</b>

The total cost of fuel per year is 4.66 million rubles.

#### 5.4.2 Power supply from photovoltaic panels and diesel generators

In the second variant of power supply, the load will be covered by the photovoltaic panels partly. During the polar nights and autumn, the fuel consumption will be the same as in the first variant. Data of generated power by PV panels and the amount of operating hours are taken from Appendix A, Pictures A.1-A.4. The calculated data are presented in Table 18.

Table 18 - Data of the fuel and energy savings due to the PV panels operating

Month	Demand per month, kWh	Per month, l	Price, RUB	Total cost, RUB
January	31 930	7254	52	377 208
February	28 840	6552	52	340 704
March	16 147	6704	52	348 608
April	5 271	3216	52	167 232
May	-	0	52	-
June	-	0	52	-
July	4 871	2042	52	106 184
August	11 825	4670	52	242 840
September	21 105	8700	52	452 400
October	28 154	8990	52	467 480
November	29 400	8990	52	467 480

Continue of Table 18

December	31 930	7254	52	377 208
<b>Totally</b>	-	<b>64 372</b>	52	<b>3 347 344</b>

So, the difference in total cost is 1.3 million rubles. Economy of fuel in liters is 25 228.

### Chapter conclusion

The aim of this chapter was economic analysis. Precisely, the main financial indicators: NPV, IRR, IP, PP. In my model I got negative NPV and its result was -42,8 million rubles with price for electricity 95 RUB. The value of IRR in my project was absent, because the project is absolutely not economic effective. As for PI, it is equal to 0.39. According to “the rule of profitability index” it is better to avoid this project, because PI is less, than one. Payback Period was bigger than lifetime of the project that is why this project should not be accepted. The minimum price for 1 kW is 579 RUB, when NPV is 0, but now the existing price is 100 RUB, that means absolutely not economic effective project.

I also calculated economic effectiveness of this project on the example of saved fuel for the diesel generators. I presented a comparative analysis of two power supply system operations. The first variant includes photovoltaic panels, storage batteries and diesel generators. The second variant includes only diesel generators. Comparative analysis was carried out according to the amount of fuel consumption. So, the difference in total cost is 1.311 million rubles. Economy of fuel in liters is 25 528. It means that the government could save only 1.311 mln rubles per year using PV power plant, but the whole investment for 20 years is 39.2 mln rubles. So, it takes about 30 years to cover all investments without any profit, but after 20 years it will be necessary to change equipment on new one that will



require additional investment again. So, the project is not economic effective from the point of saving fuel costs also.

## **6 Социальная ответственность**

В данной диссертации производится оптимизация структуры и режимов фотоэлектростанции северных территорий. Основным инструментом исследования является программный комплекс, установленный на персональном компьютере. Для проектирования используется следующее программное обеспечение: MathCAD 2015, MS Office, также для графического оформления и подготовки чертежей используется MS Visio. Рабочим местом проектировщика, проводящего данное исследование является место за рабочим столом с персональным компьютером, находящимся в кабинете проектной организации.

Выполнение проекта представляет собой расчет возможной солнечной инсоляции и оптимальный угол наклона солнечных панелей в MathCAD 2015, выбор и расчет количества необходимого оборудования для фотоэлектростанции. После проведенных расчетов оформляется графическая часть проекта (чертежи).

Под социальной ответственностью понимается объективная необходимость отвечать за нарушение социальных норм. Она выражает характер взаимоотношений личности с обществом, государством, коллективом - со всеми окружающими ее людьми.

Целями данного раздела являются выявление и анализ вредных и опасных факторов, имеющих место на объекте, а также выработка мер по ограничению их воздействия на персонал, в рассматриваемом случае – место за персональным компьютером (ПК), находящимся в проектном бюро, отдаленном от электроэнергетических установок. Организационным вопросом обеспечения безопасности является необходимость соблюдения правил, норм, инструкций и прочих документов, утвержденных законом.

## **6.1 Производственная безопасность**

Неблагоприятные изменения функционального состояния пользователей персональных компьютеров определяются сочетанием ряда вредных факторов:

1. Повышенный уровень шума;
2. Микроклимат: температура, относительная влажность, средняя скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения;
3. Не соответствующий уровень освещенности над рабочей поверхностью;
4. Повышенный уровень электромагнитного излучения;

К опасным факторам в случае работы с ПК можно отнести поражение электрическим током;

Эти и многие другие факторы могут негативно сказаться на здоровье человека, поэтому очень важно, чтобы вредные и опасные факторы не нарушали своих пределов.

### **6.1.1 Меры по снижению и устранению опасных и вредных факторов**

#### **6.1.1.1 Защита от электромагнитного поля (ЭМП)**

Источником электромагнитного поля является дисплей и системный блок. Вокруг компьютера образуется электромагнитное поле с диапазоном частот от 5 до 400 кГц.

Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах пользователей не должны превышать значений, установленных [40]. Требования к электромагнитным полям приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Параметры	Допустимый уровень в диапазоне частот	
	5 Гц – 2 кГц	2–400 кГц
Напряженность электрического поля, В/м	25	2,5
Плотность магнитного потока, нТл	250	25
Напряженность электростатического поля, кВ/м	15	

Для защиты от действия электромагнитного поля используются следующие средства и методы защиты:

1. Стекланные фильтры полной защиты, обеспечивающие ослабление мощности электромагнитного и электростатического полей;
2. Спектральные компьютерные очки для улучшения качества изображения, защиты от избытков энергетических потоков видимого света;
3. Специальная налобная повязка для частичной экранизации негативного энергоинформационного воздействия компьютера и периферийных средств, а также для снижения вредного воздействия электрического и магнитного полей промышленной частоты;
4. Размещение токоведущих элементов аппаратов и устройств в ферромагнитные оболочки кожухи;
5. Снижение мощности излучения электромагнитного поля на рабочем месте путем увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом.

### **6.1.1.2 Освещение помещений**

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды [41].

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Рабочее помещение инженера службы режимов должно иметь естественное и искусственное освещение. Ориентация светопроемов помещений должна быть северо-восточной или северной с коэффициентом естественной освещенности не ниже 1,2%. При этом для рассеивания естественного света на окнах должны быть установлены жалюзи (занавески, внешние козырьки и т. п.).

Рабочее место с ПК следует устанавливать к световым проемам боковой стороной (преимущественно левой). В качестве источников искусственного освещения следует применять люминесцентные лампы типа ЛБ (белой цветности) и компактные люминесцентные лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные), а при устройстве отраженного освещения – и металлогалогенные лампы. В светильниках местного освещения допускается применять лампы накаливания.

Расстояние между рабочими местами с ПК в ряду (от экрана одного видеомонитора до задней части другого) должно быть не менее 2,0 м; а между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк [42]. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПК, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 -5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1 [42].

Также не маловажную роль играет цветовая отделка помещения необходимая для обеспечения оптимальных условий работы пользователей дисплейных устройств [42].

Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

#### **6.1.1.3 Микроклимат помещений**

Микроклимат – климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Для обеспечения оптимальных условий труда объём производственного помещения на одного работающего согласно санитарным нормам должен быть не менее 20 м<sup>3</sup>, площадь помещения, огороженного стенами, не менее 6 м<sup>2</sup> [43]. Оптимальные параметры микроклимата помещений с ПК приведены в таблице 20, а допустимые параметры в таблице 21.

Таблица 20 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая, 1а	20 - 24	40 – 60	0,1
Тёплый	Лёгкая, 1а	20 - 24	40 - 60	0,1

Таблица 21 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая, 1а	19 - 26	15 - 75	0,1
Тёплый	Лёгкая, 1а	20 - 29	15 - 75	0,1

Так же немаловажным фактором является интенсивность теплового облучения, допустимые нормы приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup>
50 и более	35
25 - 50	70
Не более 25	100

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено при использовании таких технических средств, как [44]:

1. Защита от источников тепловых излучений для снижения температуры воздуха в помещении и теплового облучения работающих;
2. Устройств вентиляции и отопления;
3. Увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

Задача вентиляции – обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязнённого или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха.

Целью отопления помещения является поддержание в них в холодное время года заданной температуры воздуха, а также обеспечить безопасность в отношении пожаров и взрывов.

#### 6.1.1.4 Защита от шума

Уровни шума на рабочих местах пользователей ПК не должны превышать значений, установленных [45] (таблица 23).

Уровень шума на основных рабочих местах (помещения дирекции, проектно-конструкторские бюро, вычислительных машин и др.) не должен превышать 50 дБА.

Таблица 23 – Уровни звукового давления

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Снижение шума, создаваемого на рабочих местах внутренними источниками, а также шума, проникающего извне, осуществляется следующими методами:

1. Уменьшением шума в источнике;
2. Рациональной планировкой помещения;
3. Уменьшением шума на пути его распространения (звукоизоляция, звукопоглощение).

## **6.1.2 Опасные производственные факторы**

### **6.1.2.1 Электрический ток**

Согласно [46, п.1.1.13] в отношении опасности поражения людей электрическим током данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности, поскольку это сухое, беспыльное помещение с нормальной температурой воздуха.

Основными причинами электротравматизма являются: случайное прикосновение к незаземленным токоведущим частям электрооборудования; работа с неисправными ручными инструментами; пользование неисправными и нестандартными переносными светильниками на напряжение 127 В и 220 В; применение открытых рубильников; работа без защитных изолирующих средств и предохранительных приспособлений; прикосновение к незаземленным корпусам; несоблюдения правил технической эксплуатации и правил безопасности при эксплуатации электроустановок и т.п.

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью. Влияние тока на организм зависит от его частоты и рода, пути прохождения, времени воздействия, состояния кожных покровов, от класса напряжения, режима работы нейтрали сети.

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от времени прохождения тока через тело человека: при длительности воздействия тока промышленной частоты 50 Гц более 10 с допустимым значением является 2 мА, при 10 с и менее - 6 мА. Чем больше будет время воздействия тока, тем сильнее будет поражение и тем меньше вероятность восстановления жизненных функций организма.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает следующие значения предельно допустимых уровней напряжений прикосновения и токов [46] (таблица 24).



Таблица 24 – Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения	
	$U_{пр}$ , В	$I$ , мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Обеспечение электробезопасности:

1. Компьютер должен быть оснащен закрытыми оболочками, которые зануляются. Вводится магистраль зануления, к которой подсоединяются корпуса устройств. Стальные трубы электропроводки, нулевые провода используются в качестве контура заземления внутри здания.

2. Защита людей осуществляется путем изоляции токоведущих частей, создавая защитные барьеры, а также применением предупредительных знаков и надписей.

В дополнение к техническим средствам защиты включают организационные мероприятия:

- периодическая проверка изоляции токоведущих проводов;
- для работы с ПК, служащие должны быть надлежащим образом проинструктированы.

### **6.1.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Под устойчивостью работы объекта в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени понимается его способность производить в этих условиях запланированную продукцию в установленной номенклатуре и объеме, а для объекта непроемкой сферы – выполнять заданные функции.

Сущность повышения устойчивости работы объекта в чрезвычайных условиях заключается в разработке и осуществлении мероприятий, направленных:

- на максимальное снижение возможных потерь и разрушений;
- на обеспечение защиты рабочих, служащих и членов семей, на обеспечение их жизнедеятельности;
- на предотвращение производственных аварий и катастроф, снижение возможных потерь и разрушений при их образовании, а также от возможных современных средств поражения;
- на создание условий для ликвидации последствий, аварий, катастроф, стихийных бедствий;
- на подготовку к выполнению работ по восстановлению производства своими силами и в короткий срок.

Основные причины чрезвычайных ситуаций:

- влияние внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей;
- результаты стихийных бедствий и особо опасных инфекций;
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорости, температуры, вибрации);
- производственные дефекты сооружений (ошибки при исследовании и проектировании, плохое выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);
- нарушение правил безопасности при ведении работ и технологических процессов;
- ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью, и т. д.

При работе в отделе релейной защиты возможны следующие ЧС:

- стихийные бедствия;
- военные действия;
- пожар.

Одним из условий быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

Для ликвидации последствий ЧС созданы следующие службы:

- оповещения и связи;
- противорадиационной и противохимической защиты;
- медицинская;
- аварийно-техническая;
- охраны общественного порядка.

Рассмотрим в качестве примера ЧС возникновение пожара.

Пожар – неконтролируемый процесс горения, развивающийся во времени и пространстве, опасный для людей и наносящий материальный ущерб. Наиболее распространенными источниками воспламенения являются источники электрического происхождения. Пожарная безопасность направлена на профилактику и ликвидацию пожаров и имеет очень важное значение.

Согласно [47], данное рабочее помещение в связи с наличием горючих и трудногорючих веществ и материалов, но не относящихся к легковоспламеняющимся с температурой горения выше 28°C, относится к категории В3 по пожарной опасности.

Основными рекомендуемыми профилактическими мероприятиями по защите от пожаров являются:

- уменьшение пожарной нагрузки;
- нейтрализация и устранение источников зажигания;
- повышение огнестойкости конструкций зданий и сооружений;

— организация пожарной охраны.

Успех ликвидации пожара на объектах зависит, прежде всего, от быстроты оповещения о его начале. Для этого используется система пожарной сигнализации.

Пожарная сигнализация должна быстро и точно сообщать о пожаре. Наиболее надежной системой пожарной сигнализации является электрическая пожарная сигнализация. Совершенные виды такой сигнализации дополнительно обеспечивают автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения.

Несмотря на принимаемые меры, на производстве в любой момент может возникнуть необходимость локализации (тушения) пожара.

Для тушения пожара необходимо исключить одно из трех необходимых его условий: горючее вещество, окислитель или источник зажигания. Для этого используют следующие способы:

- прекращение доступа в зону горения окислителя (кислорода воздуха) или горючего вещества, а также снижение их поступления до величин, при которых горение прекращается:
  - охлаждение очага горения ниже определённой температуры;
  - механический срыв пламени струёй жидкости или газа;
  - снижение скорости химической реакции, протекающей в пламени.

Для ликвидации небольших пожаров и загораний до прибытия пожарной команды применяют первичные средства пожаротушения, такие как передвижные (свыше 25 л) и ручные (до 10 л) огнетушители порошковые или углекислотные, переносные огнегасительные установки, внутренние пожарные краны, ящики с песком, асбестовые покрывала, противопожарные щиты с набором инвентаря.

#### **6.1.4 Экологическая безопасность**

В компьютерах содержится огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

1. Свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
2. Ртуть (поражает мозг и нервную систему);
3. Никель и цинк (могут вызывать дерматит);
4. Щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу).

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

1. Отделение металлических частей от неметаллических;
2. Металлические части переплавляются для последующего производства;
3. Неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке.

В целях защиты населения от воздействия компонентов, содержащих токсичные вещества, в настоящее время ведется создание и внедрение безотходной технологии в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач.

Также воздействие на окружающую среду, а в частности на гидросферу оказывают сточные воды.

Сточные воды – это загрязненные различными производственными отходами воды, для удаления которых с территории населенных пунктов и предприятий промышленности оборудуются специальные канализационные системы.

На данном рабочем месте присутствует 1 категория классификации сточных вод: бытовые (хозяйственно-фекальные), где происходит удаление вод из туалетов, душевых и столовых.

Очистка и утилизация сточных вод из канализационных систем населенных пунктов производится в специальных очистных сооружениях, в которых из стоков удаляются следующие вещества:

Взвешенные:

- Коллоидные;
- Растворенные;
- Осевший в первичных отстойниках осадок;
- Избыток активного ила, появившийся в результате биологической очистки.

Кроме того, в данных сооружениях производятся обработка и обеззараживание сточных вод, позволяющие выполнить в дальнейшем их утилизацию.

Помимо вышеупомянутых загрязнений окружающей среды негативное влияние оказывают твердые и бытовые отходы.

Виды твердых и бытовых отходов:

1. Органические: пищевые, деревянные, кожаные и костные;
2. Не органические: бумажные, пластмассовые, металлические, текстильные, стеклянные и резиновые.

Любые отходы необходимо утилизировать, и самым оптимальным методом переработки является переработка отходов во вторичное сырье. Этот метод считается одним из самых продуктивных и безопасных и основан на следующем принципе. Для начала из гетерогенной мусорной смеси необходимо произвести сортировку отходов, согласно их принадлежности. Такая сортировка позволяет выбрать из мусора такие ценные вещества, как цветной и черный металл, стекло и пластмасса, т.е. то, что максимально долго подвергается разложению и при этом выделяет массу ядовитых веществ.

В некоторых странах Европы пропагандируется отдельный сбор отходов, что значительно облегчает их утилизацию. После сортировки оставшийся мусор в зависимости от вида подлежит следующей процедуре:

- органический мусор поступает в переработку и превращается в тепловую энергию и органическое удобрение;
- неорганический мусор идет на синтез строительных материалов;
- отделенный металл прессуется, пакетируется и отправляется на литейное производство;
- стеклянные отходы идут на производство технического стекла, которое широко применяется в строительстве;
- пластмасса также перерабатывается и превращается в пластмассу вновь.

Но этот процесс получается не выгодным, так как много средств затрачивается при его очистке, и впоследствии вторичный материал получается дороже исходного, что делает его неконкурентоспособным.

Таким образом, может быть использовано около 70% твердых отходов и даже больше. Кроме этого производство вторичного сырья может принести неплохую прибыль, что вновь говорит о преимуществе в сторону переработки отходов во вторичное сырье.

## **6.1.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый сотрудник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работо-дателя;
- медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

#### **6.1.5.2 Организационные вопросы обеспечения безопасности**

А) Требования к организации рабочих мест с использованием ПЭВМ [48]:

При выборе помещений для установки и расположения компьютерной техники необходимо выполнить ряд требований для нормальной электромагнитной обстановки на рабочих местах:

- помещение должно быть удалено от посторонних источников ЭМП, все крупные металлические предметы (решетки на окнах, металлические шкафы, сейфы и т.д.) должны быть заземлены;
- групповые рабочие места пользователей ПК желательно размещать, на нижних (1-3) этажах зданий, поскольку они в наибольшей степени экранированы соседними зданиями от постороннего воздействия радиоволн;
- должно быть обеспечено надежное заземление (или трехпроводная сеть с третьим, соединенным с землей проводом), подводимое к каждому рабочему месту.

Площадь помещения на одного работника должна составлять не менее



6 м<sup>2</sup>, а объем помещения не менее 20-24 м<sup>3</sup> при его высоте 4 м.

Нужно избегать расположения рабочего места с ПК в углах комнаты или лицом к стене (расстояние от ПК до стены должно быть не менее 1 м).

Б) Требования к организации работы с компьютером [48]:

Продолжительность работы с ПК при вводе данных, редактировании программ, чтении информации с экрана не должна превышать 4 часов при 8- часовом рабочем дне. Через каждый час работы должен делаться перерыв на 5-10 минут, а через 2 часа – перерыв на 15 минут. В ночное время (с 22 до 6 ч) продолжительность регламентируемых перерывов увеличивают на 30%.

Для предупреждения преждевременной усталости рекомендуется чередовать работу с ПЭВМ и без нее.

Правильная поза и положение рук оператора являются весьма важными для исключения нарушений в опорно-двигательном аппарате и возникновения синдрома постоянных нагрузок. Правильная позиция оператора за компьютером:

- Расстояние от видеомонитора до глаз пользователя в пределах 500-700 мм;
- Уровень глаз на 15-20 см выше центра экрана; Задняя поверхность бедер соприкасается с сиденьем; колено и бедро на одной линии, что позволяет избежать напряженности мышц ног;
- Обе ступни на полу, что обеспечивает хорошую релаксацию и отсутствие напряженности мышц тела, а также лучшую циркуляцию крови;
- Плечи опущены и расслаблены, благодаря чему руки также будут расслабляться;
- Запястья и локти на одной линии, пальцы ниже или на уровне запястий, при этом они обладают наибольшей свободой передвижения.

Рабочий стул (кресло) должно иметь регулировку высоты, угла наклона сиденья и спинки, полумягкое, нескользящее, слабо электризирующееся и воздухопроницаемое покрытие.

Статическое напряжение мышц шеи приводит к снижению

интенсивности кровообращения только в этой области, но и головного мозга, следствием чего являются головные боли.

### **Заключение по разделу**

В данном разделе были рассмотрены вопросы охраны окружающей среды и охраны труда обуславливающего социальную ответственность энергетического комплекса предприятий. Также в разделе были рассмотрены вредные, опасные факторы при проектировании и исследовании объектов электроэнергетики, негативное воздействие на окружающую среду. Кроме этого рассмотрены средства защиты от вредных и опасных факторов, учтены факторы защиты окружающей среды. Также были рассмотрены организационные вопросы обеспечения безопасности при работе с электроустановками.

## **Заключение**

Главной целью данной магистерской диссертации являлось проектирование фотоэлектростанции на Крайнем Севере, а также подготовка технико-экономического обоснования предлагаемого варианта. Вся работа разделена на 6 глав, с несколькими подглавами в каждой из них.

Таким образом, первая глава посвящена техническим и климатическим особенностям исследуемого объекта. Что касается технических характеристик, то категория надежности электроснабжения - третья. Установленная мощность поселка - 100 кВт, благодаря чему были построены типовые графики суточных нагрузок для каждого сезона в течение года с учетом статистических данных [18]. Годовое потребление электроэнергии поселком составляет 306,8 МВтч в год. Что касается климатических особенностей, то исследуемый объект находится за Полярным кругом. Следовательно, основной климатической особенностью поселка является наличие полярного дня и полярной ночи. Полярная ночь на широте Хатанги длится с 17 ноября по 25 января, полярный день длится с 9 мая по 4 августа. Но оценка потенциала использования энергии солнца представлена во второй главе.

Во второй главе представлен расчет солнечной радиации двумя способами. Первый способ связан с использованием статистических данных из научно-прикладного справочника по климату СССР [9], данные которого собирались в течение пятидесяти лет. Второй метод связан с использованием классического теоретического расчета солнечной радиации [20]. Таким образом, в дальнейших расчетах использовалась общая солнечная радиация за месяц, сочетающая эти два метода. Анализируя полученную информацию, был сделан следующий вывод: наиболее благоприятные месяцы для использования солнечных модулей - май, июнь и июль, поскольку в эти

месяцы присутствует полярный день. Во второй главе также представлена структурная схема гибридной системы электроснабжения.

Третья глава посвящена проектированию фотоэлектростанции в поселке на Крайнем Севере. В данной главе был осуществлен выбор всего необходимого оборудования. Таким образом, фотоэлектростанция включает в себя 432 солнечных модуля, 288 аккумуляторных батареи, 6 контроллеров и 6 инверторов. Принципиальная схема фотоэлектростанции также приведена в этой главе.

В четвертой главе был разработан алгоритм работы системы электроснабжения объекта: когда работают солнечные панели совместно с аккумуляторными батареями – не работают генераторы и наоборот.

Цель пятой главы - экономический анализ. Расчет основных финансовых показателей: ЧДД, ВНД, ИР, ПО. В финансовой модели получен отрицательный ЧДД, результат составляет -42,8 млн. руб. при стоимости электроэнергии 95 руб. ВНД в проекте отсутствует, так как проект экономически не эффективен с точки зрения расчета ЧДД. Что касается ИР, то он равен 0,39. Согласно «правилу индекса рентабельности», если ИР меньше единицы, то следует остерегаться данного проекта. Период окупаемости больше, чем срок службы оборудования. Минимальная стоимость 1 кВтч составляет 579 руб. при ЧДД равном 0, но настоящая стоимость электроэнергии составляет 100 руб. за 1 кВтч, что означает экономически неэффективный проект. Также в данной главе подсчитана экономическая эффективность проекта на примере сэкономленного топлива для дизель - генераторов. Представлен сравнительный анализ работы двух систем электроснабжения. Первый вариант включает в себя солнечные панели, аккумуляторные батареи и дизель - генераторы. Второй вариант включает в себя только дизель -генераторы. Сравнительный анализ проводился в зависимости от потребленного топлива. Таким образом,

разница в суммарной стоимости топлива составляет 1,3 млн. руб. Экономия топлива в литрах составляет 25 528. Значит, правительство сможет сэкономить только 1,3 млн. руб. в год с внедрением фотоэлектростанции в поселке, но инвестиции для 20-летнего периода составляют 39,2 млн. руб. Таким образом, для покрытия капиталовложений без какой-либо прибыли потребуется около 30 лет, но через 20 лет необходимо будет произвести замену оборудования на новое, что потребует дополнительных вложений. Следовательно, проект не является экономически эффективным с точки зрения сокращения затрат на топливо.

Подводя итог, внедрение фотоэлектростанции экономически неэффективно в этом регионе, несмотря на наличие полярного дня в течение трех месяцев. Инвестиции слишком велики, чтобы покрываться за счет экономии топлива. Моя рекомендация с точки зрения финансовых показателей использовать только дизель - генераторы, но с точки зрения получения чистой электроэнергии и заботе об экологии окружающей среды – внедрить фотоэлектростанцию.

## Список литературы

1. «Экологические основы природопользования». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://mydocx.ru/11-109736.html>
2. Subhes C. - Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance, Springer, 2011, ISBN: 0857292676.
3. Сайт Правительства Российской Федерации. [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://government.ru/info/32060/>
4. Сайт Правительства Российской Федерации. [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://government.ru/news/10228/>
5. Правительство РФ Распоряжение от 8 января 2009 г. № 1-р Москва. [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://static.government.ru/media/files/nthMKeFTloAfD4MAI2bR4pNQ1lsdce0M.pdf>
6. Научный журнал «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=7733>
7. Сайт «INTERFAX.RU». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://www.interfax.ru/russia/449197>
8. Сайт «ЗЕЛЕНЕЕТ». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://zeleneet.com/solnechnaya-elektrostantsiya-na-krajnem-severe/124/>
9. Сайт «РАО Энергетические Системы Востока». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://www.rao-esv.ru/activity/renewable-energy/solar-power/>
10. Сайт «Якут.ЕР.РУ». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://yakut.er.ru/news/2016/6/10/ozvucheny-osnovnye-problemy-v-oblasti-energetiki-v-respublike-saha-yakutiya/>
11. Википедия - Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Попига́й>

12. Правила устройства электроустановок. – Издание 7-е, 2002. – 330 с.
13. Википедия - Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Полярная\\_ночь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Полярная_ночь)
14. «Солнечный калькулятор» [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://www.hmn.ru>
15. «Расписание погоды» [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <https://rp5.ru/Хатанга>
16. «Компания Дизель». [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://www.comd.ru/catalog/dizelnye-elektrostancii-tsena-DES/Professional/DGU-dizel-generatory-MMZ/dizelnaya-elektrostanciya-50-kvt-AD-50-T400-MMZ/automatization-grades/>
17. Федеральный Закон № 261 от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
18. Будзко И.А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Колос, 2000. – 536с
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Выпуск 21. – Л.:Изд-во Гидрометеониздат, 1990. – 312с.
20. Самойлов Д.В. Расчет величины поступления теплоты от солнечной радиации на поверхность Земли: Методические указания/Под ред. Ю.В. Пешти. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 20 с.: ил.
21. М. Гёнттер. Продвинутое CSP обучающие материалы. [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://www.energy-science.org/bibliotheque/cours/1361469594Chapter%2002%20radiation.pdf>
22. Виссарионов В. И. Дерюгина Г. В. Кузнецова В. А., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов/ Под. Ред. В. И Виссарионова– М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.

23. «Журнал» [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный.  
<https://www.sunhome.ru/journal/139154>
24. Сайт компании «Ваш солнечный дом» [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <http://shop.solarhome.ru/300w-hse300-72m-helios-solarworks-24v-mono.html>
25. Сайт компании «EXMORK» [Электронный ресурс] - Режим доступа: свободный. <https://inventory.ru/product/akkumuljator-delta-dtm-12200-1/>
26. МАП «Энергия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: свободный. [http://www.invertor.ru/zzz/item/ss\\_50\\_c](http://www.invertor.ru/zzz/item/ss_50_c)
27. Сайт компании «Солнечные.РУ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: свободный. <http://www.solnechnye.ru/inventory-220v/vybor-invertora.htm>
28. МАП «Энергия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: свободный. [http://www.invertor.ru/zzz/item/map\\_pro\\_48\\_20](http://www.invertor.ru/zzz/item/map_pro_48_20)
29. Math Help Planet. [Online]. Available: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=pokazateli-effektivnosti-investitsionnogo-proekta>
30. R. A. Brealey, S. C. Myers, and F. Allen, Principles of Corporate Finance, 10th ed. McGraw-Hill/Irwin, 2010.
31. Investopedia. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
32. I. Welch, Corporate Finance, 3rd ed. Los Angeles, 2014.
33. Wikipedia. The free Encyclopedia. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation>
34. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. [Online]. Available: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depMacro/20160506>.



35. H.K. Barker and G.E. Powell, Understanding Financial Management. 2007.
36. Financial analysis. [Online]. Available: <http://finzz.ru/stavka-diskontirovaniya.html>
37. “Postanovleniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii №1470 Ob utverzhdenii poryadka predostavleniay gosudarstvennih garantiy na konkursnoy osnove za schet sredstv Budgeta razvitiay Rossiyskoy Federatsii”.
38. Wikipedia. Sensitivity analysis. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sensitivity\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Sensitivity_analysis).
39. Sputnik-georgia.ru. [Online]. Available: <https://sputnik-georgia.ru/spravka/20171208/238490310/Povyshenie-cen-na-benzin-v-2018-godu-prognoz-rosta-ceny-do-50-rublej.html>
40. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями от 25 апреля 2007 г.).
41. Строительные нормы и правила РФ. Естественное искусственное освещение: СНиП 23-05-95: Введ.01.01.96-изд.офицю-М.: Госстрой России, 1999.-35 с.
42. СП.52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
43. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
44. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
45. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
46. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»;
47. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

48. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»

## Приложение А

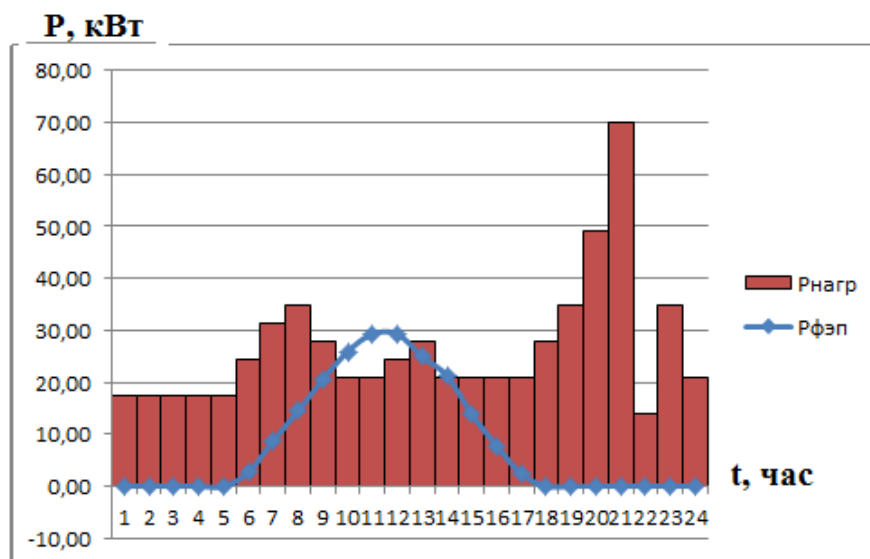


Рисунок А.1 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции  
(март)

Солнечная инсоляция превышает мощность нагрузки только с 10 до 13 часов дня. Следовательно, дизель-генератор можно отключить на 3 часа, тем самым сэкономяв топливо.

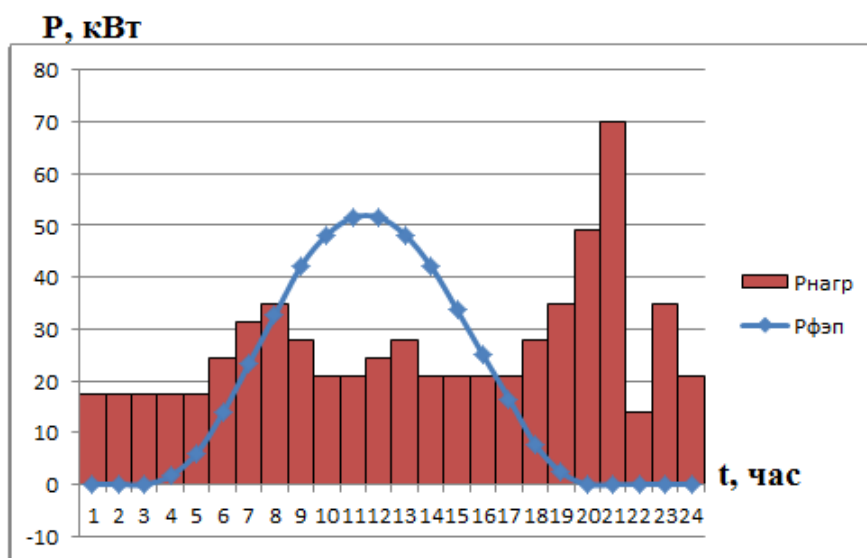


Рисунок А.2 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции  
(апрель)

Солнечная инсоляция превышает мощность нагрузки только с 9 до 16 часов дня. Следовательно, дизель-генератор можно отключить на 8 часов, тем самым сэкономя топливо. Кроме того, можно запасти 156,8 кВтч и использовать их в дальнейшем еще в течение 4 часов. Таким образом, дизель-генератор будет отключен с 9 часов утра до 9 часов вечера.

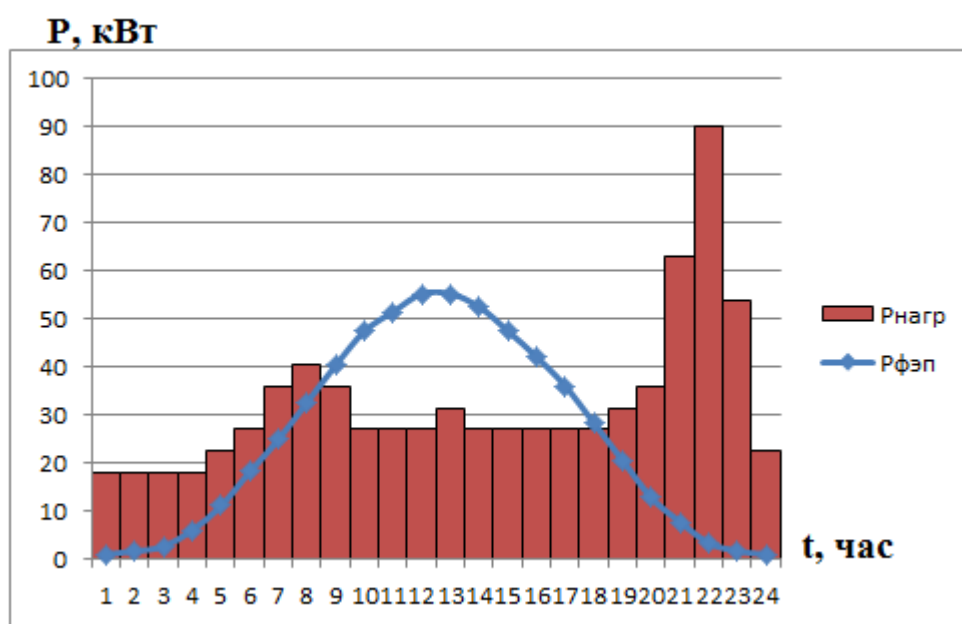


Рисунок А.3 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции (июль)

Солнечная инсоляция превышает мощность нагрузки только с 9 до 18 часов дня. Следовательно, дизель-генератор можно отключить на 10 часов, тем самым сэкономя топливо. Кроме того, можно запасти 173 кВтч и использовать их в дальнейшем еще в течение 3 часов. Таким образом, дизель-генератор будет отключен с 9 часов утра до 10 часов вечера.

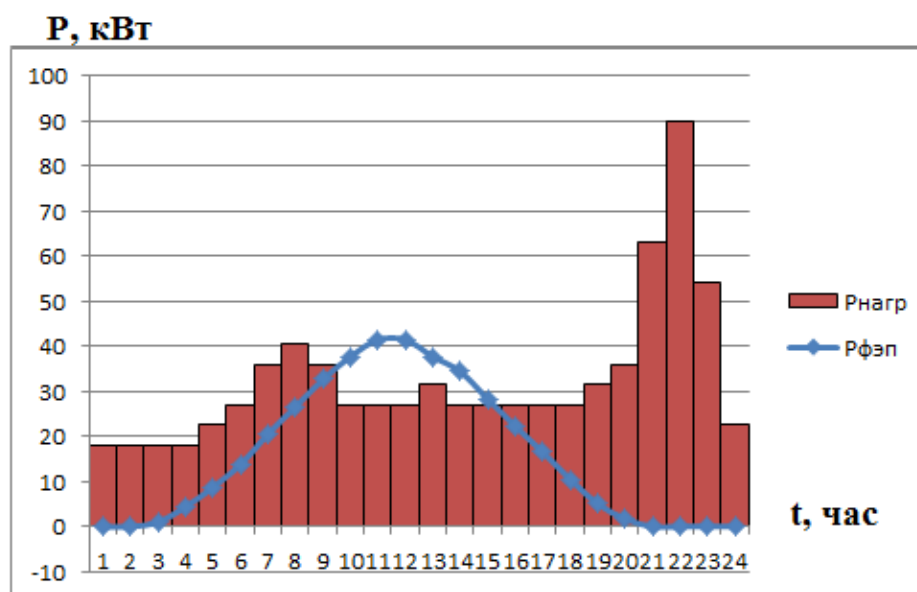


Рисунок А.4 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции (август)

Солнечная инсоляция превышает мощность нагрузки только с 10 до 15 часов дня. Следовательно, дизель-генератор можно отключить на 6 часов, тем самым сэкономяв топливо. Кроме того, можно запасти 54,5 кВтч и использовать их в дальнейшем еще в течение 2 часов. Таким образом, дизель-генератор будет отключен с 10 часов утра до 18 часов вечера.

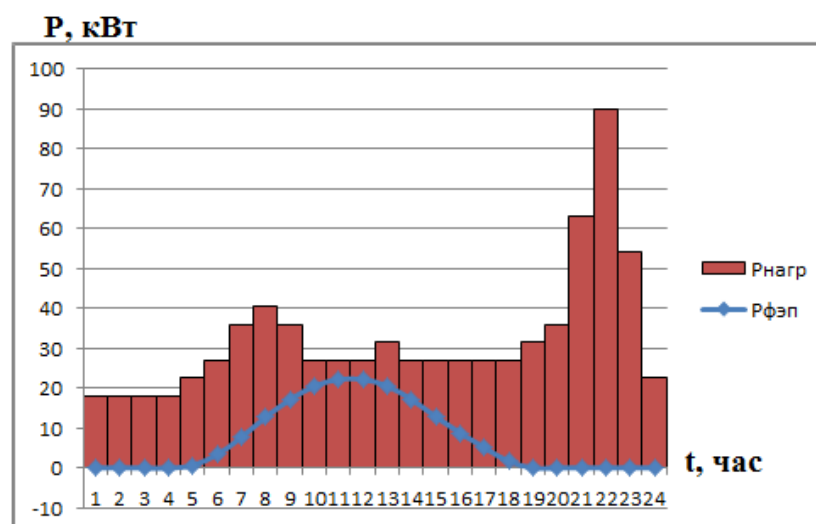


Рисунок А.5 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции (сентябрь)

Солнечной инсоляции недостаточно, чтобы отключить дизель-генератор, таким образом, экономия топлива отсутствует.

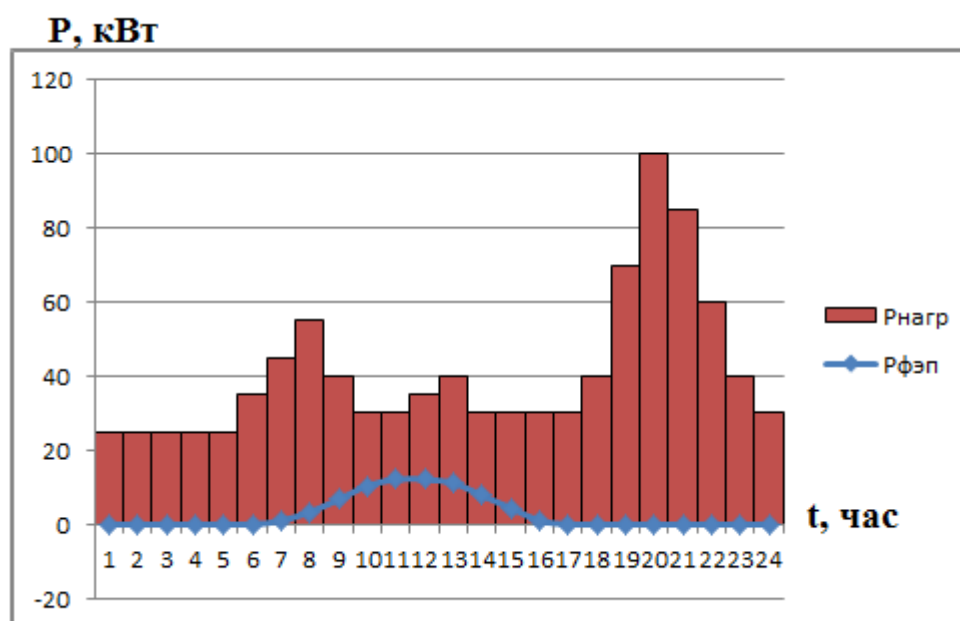


Рисунок А.6 - Суточный график мощности нагрузки и солнечной инсоляции (октябрь)

Солнечной инсоляции недостаточно, чтобы отключить дизель-генератор, таким образом, экономия топлива отсутствует.

## Appendix B – Results of Financial model

Table B1 – NPV of financial model with price of electricity 95 RUB

[illegible]

Table B2 – Cash Flows of financial model with NPV = 0

[illegible]

Continue of Table B3 - Cash Flows of financial model with NPV = 0

[illegible]



## Appendix C

Table C.1 – Fuel consumption depending on realistic load

Winter	P, kWh	g, g/kWh	G, kg/h	Spring	P, kWh	g, g/kWh	G, kg/h	Summer	P, kWh	g, g/kWh	G, kg/h	Autumn	P, kWh	g, g/kWh	G, kg/h
	25	290	7,25		16	350	5,6		14	370	5,18		22,5	305	6,8625
	25	290	7,25		20	310	6,2		14	370	5,18		22,5	305	6,8625
	25	290	7,25		20	310	6,2		14	370	5,18		22,5	305	6,8625
	25	290	7,25		20	310	6,2		14	370	5,18		22,5	305	6,8625
	25	290	7,25		20	310	6,2		17,5	340	5,95		22,5	305	6,8625
	30	272	8,16		20	310	6,2		17,5	340	5,95		31,5	270	8,505
	30	272	8,16		24	290	6,96		21	308	6,468		40,5	259	10,489
	30	272	8,16		24	290	6,96		21	308	6,468		49,5	290	14,355
	30	272	8,16		24	290	6,96		21	308	6,468		36	264	9,504
	30	272	8,16		24	290	6,96		21	308	6,468		27	285	7,695
	35	265	9,275		24	290	6,96		21	308	6,468		27	285	7,695
	35	265	9,275		24	290	6,96		21	308	6,468		31,5	270	8,505
	35	265	9,275		24	290	6,96		21	308	6,468		36	264	9,504
	35	265	9,275		28	275	7,7		21	308	6,468		27	285	7,695
	40	258	10,32		28	275	7,7		21	308	6,468		27	285	7,695
	40	258	10,32		32	270	8,64		24,5	290	7,105		27	285	7,695
	40	258	10,32		32	270	8,64		24,5	290	7,105		27	285	7,695
	50	290	14,5		32	270	8,64		28	275	7,7		36	264	9,504
	50	290	14,5		36	264	9,504		28	275	7,7		63	270	17,01
	60	272	16,32		40	259	10,36		28	275	7,7		90	259	23,31
	70	265	18,55		40	259	10,36		31,5	270	8,505		76,5	260	19,89
	70	265	18,55		40	259	10,36		42	258	10,836		54	285	15,39
	95	261	24,795		56	262	14,672		49	262	12,838		36	262	9,432
	100	268	26,8		80	259	20,72		70	265	18,55		27	285	7,695
<b>Totally</b>			<b>279.1</b>				<b>202,6</b>				<b>178.9</b>				<b>243,57</b>
<b>Totally,l/h</b>			<b>234</b>				<b>242</b>				<b>213</b>				<b>290</b>

